

JUURITÄYTTEEN TIIVISTEAINEET
Kirjallisuuskatsaus

Sonja Turtinen
Syventävien opintojen tutkielma
Hammaslääketieteen tutkinto-ohjelma
Lääketieteellinen tiedekunta
Oulun yliopisto
04/2021
Ohjaajat: Anne Laajala, Kristiina Oikarinen-
Juusola

TIIVISTELMÄ

Turtinen, Sonja: Juuritäytteen tiivistaineet
Syventävien opintojen tutkielma: 40 sivua

Juuritäytteen tiivistaineiden tehtävänä on parantaa juuritäytteen tiiviyyttä täyttämällä juurikanavan epätasaisuudet ja dentiinitubulukset. Ne ehkäisevät ja hoitavat endodontisia infektioita peittämällä juurikanavan jäännösbakteerit ja estämällä ravinteiden vuodon juurikanavaan. Tiivistaineilla voi olla näiden lisäksi antimikrobista aktiivisuutta.

Tämän kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on selvittää kirjallisuuden avulla, millaisia ominaisuuksia tiivistaineella tulisi olla, millaisia tiivistaineita on markkinoilla ja miten eri tiivistaineiden ominaisuudet eroavat toisistaan. Kirjallisuuden haku toteutettiin Scopus- ja Pubmed-tietokannoilla. Ensisijaisesti haettiin kirjallisuuskatsauksia ja meta-analyyysejä. Haku rajattiin englanninkielisiin artikkeleihin. Lisäksi tietoa haettiin endodontian oppikirjasta Endodontics Review : A Study Guide ja Endodontic Topics –julkaisusarjan artikkeleista.

Juuritäytteen tiivistaineelle merkittäviä ominaisuuksia ovat tiivistaineen kyky tunkeutua dentiinitubuluksiin ja juurikanavan epätasaisuuksiin sekä sen adaptaatio juurikanavan seinämiin. Ideaalinen juuritäytteen tiivistaine on biohyhteensopiva, ei-sytotoksinen ja ei-muta-geeninen. Sen käsittely ja asettaminen juurikanavaan on helppoa. Materiaalin tulee olla erotettavissa röntgenkuvista ja se ei saisi värjätä hampaan rakenteita. Juuritäytteen tiivistaine tulisi olla myös poistettavissa juurikanavasta, mikäli uusintajuurihoito on tarpeen. Viime vuosina tiiviysominaisuuksien lisäksi tavoitelluiksi ominaisuuksiksi ovat nousseet myös antimikrobiominaisuudet sekä bioaktiivinen kudosten muodostumisen ja paranemisen edistämisen. Mikään markkinoilla olevista tiivistaineista ei täytä kaikilta osin ideaaliselle tiivistaineelle asetettuja vaatimuksia. Klinikon tehtävänä on harkita eri tiivistaineiden soveltuvuus tilannekohtaisesti.

Markkinoilla on useita koostumukseltaan ja ominaisuuksiltaan vaihtelevia tiivistaineita. Tiivistaineet voidaan luokitella sinkkioksidieugenolipohjaisiin, lasi-ionomeeripohjaisiin, kalsiumhydroksidipohjaisiin, liuotinpohjaisiin, silikonipohjaisiin, resiinipohjaisiin, kalsiumsilikaattipohjaisiin ja kalsiumfosfaattipohjaisiin sealereihin. Juuritäytteen tiivistaineiden kultaisena standardina on pidetty epoksiresiinipohjaista AH Plussaa, joka on tiiviysominaisuuksiltaan ja fysiokemiallisilta ominaisuuksiltaan hyvä materiaali. Tulevaisuudessa tärkeimmäksi tiivistaineryhmäksi voivat nousta biohyhteensopivuuden, bioaktiivisen potentiaalín ja antibakteerisen aktiivisuutensa ansiosta biokeraamiset kalsiumsilikaattipohjaiset sealerit. Tutkimustulokset kalsiumsilikaattipohjaisista sealereista ovat olleet lupaavia ja ne ovat osoittautuneet samankaltaisiksi tai jopa paremmiksi verrattuna perinteisiin tiivistaineisiin.

Avainsanat: juuritäytteen tiivistaine, endodontinen sealeri, ominaisuudet, kirjallisuuskatsaus

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	5
2. TAVOITTEET	6
3. AINEISTO JA MENETELMÄT	6
4. IDEAALISEN TIIVISTEAINEEN OMINAISUUDET	7
5. TIIVISTEAINEIDEN LUOKITTELU	8
5.1 Sinkkioksidieugenolipohjaiset sealerit	9
5.2 Lasi-ionomeeripohjaiset sealerit	10
5.3 Kalsiumhydroksidipohjaiset sealerit	11
5.4 Liuotinpohjaiset sealerit	12
5.5 Silikonipohjaiset sealerit	12
5.6 Resiinipohjaiset sealerit	13
5.7 Kalsiumsilikaattipohjaiset sealerit	16
5.8 Kalsiumfosfaattipohjaiset sealerit	21
6. MATERIAALIEN VERTAILU	21
6.1. Fysiokemialliset ominaisuudet	21
6.1.1. Radio-opaakisuus	22
6.1.2. Juoksevuus ja filmin paksuus	22
6.1.3 Kovettumisaika	23
6.1.4 Liukoisuus	24
6.1.5 pH	26
6.2 Bioyhteensopivuus ja toksisuus	26
6.3 Antimikrobiominaisuudet	29
6.4 Tiiviysominaisuudet	32
6.4.1 Penetraatio dentiinitubuluksiin	33
6.4.2 Mikrovuoto	34
6.4.3 Sidoslujuus	34

6.5 Täytteen laatu	35
6.6 Hampaan värjäytyminen.....	35
6.7 Uusintajuurihoidettavuus.....	36
7. YHTEENVETO.....	37
8. POHDINTA.....	38
LÄHDELUETTELO	40

1. JOHDANTO

Juurihoidon tarkoituksena on hoitaa periapikaalisia infektioita ja/tai ehkäistä niiden kehittymistä (Arikatla ym. 2018). Juurihoito on monivaiheinen toimenpide, joka alkaa puudutuksella, työskentelyalueen eristämällä ja aseptiikan varmistamisella. Tämän jälkeen tehdään hampaan perusavaus, muodostetaan liukupolku sekä määritetään kanavamitat. (Blicher ym. 2016) Juurihoidon tärkein vaihe on kemomekaaninen preparointi, jolla tarkoitetaan juurikanavatilan puhdistusta ja laajennusta mekaanisesti juurikanavainstrumentein sekä kemiallisesti huuhteluainein (Mamootil & Messer 2007). Mikäli juurihoito toteutetaan usealla käynnillä, hoitokäyntien välissä juurikanavat lääkitään. Kemomekaanista preparointia seuraa juurikanavien täyttö kolmiulotteisella adaptoituvalla täytteellä. Tärkeä osa juurihoitoa ovat myös hampaan tiivis lopullinen restaurointi sekä hoitotuloksen seuranta. (Blicher ym. 2016)

Juuritäyte on tehtävä asianmukaisesti, sillä huono juuritäyte voi johtaa bakteerien kasvuun juurikanavassa. On raportoitu, että jopa 58 prosenttia juurihoidon epäonnistumisista voi johtua epätäydellisestä juurikanavan täytöstä. Bakteerien juurikanavaan pääsyn ja siten infektioreitin muodostumisen ehkäisemiseksi juurihoidon tavoitteena on saavuttaa kolmiulotteinen juurikanavatäyte reagoimattomalla bioyhteensopivalla materiaalilla. Yleisimmin juurentäyttömateriaalina käytetään guttaperkkaa, joka adaptoituu kohtalaisesti juurikanavan seinämiin. (Arikatla ym. 2018) Guttaperkka on luonnosta saatavaa trans-isopreenia, joka muistuttaa ominaisuuksiltaan kumia. Guttaperkkanastat koostuvat guttaperkan (20%) lisäksi sinkkioksidista (65%) sekä muista materiaaleista (15%), kuten vahoista, resiineistä ja metalleista. (Blicher ym. 2016) Juuritäyte vaatii lisäksi tiivistäineen eli juurikanavasealerin. Ideaalinen juuritäyte koostuu suurimmaksi osaksi guttaperkasta ja minimaalisesta määrästä sealeria tunkeutuneena juurikanavan epätasaisuuksiin ja dentiinitubuluksiin. (Arikatla ym. 2018)

Endodontisilla sealereilla on merkittävä rooli juurihoidon onnistumisen kannalta. Niiden tehtävänä on täyttää juurikanavan anatomiset epätasaisuudet ja haarautumiset sekä dentiinitubulukset, joihin guttaperkkanastat eivät ulotu ja näin parantaa juuritäyteen adaptaatiota dentiinin ja täytemateriaalin rajapinnassa. (Arikatla ym. 2018) Tehokas penetraatio anatomisiin muotoihin parantaa juuritäyteen tiiviyyttä ja mekaanista retentiota (Mamootil & Messer 2007). Tutkimukset ovat osoittaneet, että noin 35 prosenttia juurikanavan laajuudesta jää

koskemattomaksi mekaanisen preparoinnin aikana. Seurauksena bakteereita voi jäädä piilemään juurikanavasysteemiin kemomekaanisen preparoinnin jälkeen. Sealereiden tärkeänä tehtävänä on hoitaa ja ehkäistä endodontisia infektoita peittämällä nämä jäännösbakteerit ja estämällä bakteereille tarpeellisten ravinteiden vuoto juurikanavaan. Osalla sealereista on lisäksi antimikrobista aktiivisuutta, mikä on hyödyksi jäännösbakteerien eliminoimisessa ja niiden kasvun ehkäisyssä. Infektoituneissa juurikanavasysteemeissä bakteerit muodostavat biofilmejä. Biofilimuodostus toimii suojana bakteereille lisäten niiden resistenssiominaisuuksia antimikrobiaineille. Siksi antimikrobivaikutuksen lisäksi hyvä juurikanavasealeri kykenee myös ehkäisemään bakteerien biofilimuodostusta. (Kapralos ym. 2018)

2. TAVOITTEET

Tämän kirjallisuuskatkaoksen tavoitteena on selvittää kirjallisuuden perusteella, millaisia juuritäytteen tiivistaineita on markkinoilla sekä verrata niiden ominaisuuksia toisiinsa. Tutkimuskysymyksinä kirjallisuuskatsauksessa ovat:

- 1) Millaisia ominaisuuksia juuritäytteen tiivistaineella tulisi olla?
- 2) Millaisia juuritäytteen tiivistaineita on markkinoilla?
- 3) Miten eri tiivistaineiden ominaisuudet eroavat toisistaan?

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

Tämä kirjallisuuskatsaus esittelee kirjallisuutta juuritäytteen tiivistaineista. Kirjallisuuden hakuun käytettiin Scopus- ja Pubmed-tietokantoja. Haku rajattiin englannin kieleen. Julkaisutyyppinä haettiin ensisijaisesti kirjallisuuskatsauksia ja meta-analyysejä.

Haku toteutettiin Scopus-tietokannassa hakusanoilla “endodontic sealer”, “root canal sealer”, “meta-analysis” ja “review”. Haku tuotti yhteensä 525 tulosta. Pubmed-tietokanta ei tuottanut lisätuloksia haun osalta. Hakutuloksista karsittiin pois ne artikkelit, jotka eivät käsitelleet juurihoidon tiivistaineiden ominaisuuksia. Joukosta valikoitui tarkempaan tarkasteluun otsikon ja abstraktin perusteella 17 artikkelia. Artikkelit luettiin ja arvioinnin jälkeen lopulliseen työhön valikoitui 14 artikkelia.

Lisätietoa haettiin endodontian oppikirjasta Endodontics Review : A Study Guide (Blicher ym. 2016). Lisäksi kirjallisuuskatsauksessa hyödynnettiin Endodontic Topics –julkaisusarjan artikkelia Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing (Ørstavik, 2005).

4. IDEAALISEN TIIVISTEAIKKEEN OMINAISUUDET

Juuritäytteessä juuridentiinin kanssa kosketuksissa on pääsääntöisesti tiivistekaine. Vain hyvin harvoin guttaperkka pääsee työntymään sealerin peitosta suoraan kosketukseen dentiinin kanssa. Tämän vuoksi on erityisen tärkeää, että kudosten kanssa kosketuksissa oleva tiivistekaine täyttää suurelta osin vaadittavat kriittiset ominaisuudet, kuten bioyhteensopivuuden ja hyvät tiiviysominaisuudet. (Ørstavik 2005)

Grossman (1982) on listannut seuraavat vaatimukset ideaaliselle juurentäyteen tiivistekaineelle:

- 1) Sealerin tulisi olla sekoittamisen jälkeen tarttuvaa, jotta kovettumisen seurauksena saavutetaan hyvä adheesio materiaalin ja juurikanavan seinämän välille.
- 2) Sealerin tulisi muodostaa ilmatiivis sulkku.
- 3) Materiaalin tulisi olla radio-opaakkinen, jotta se on erotettavissa radiologisesti.
- 4) Jauheen partikkelien tulee olla hyvin hienojakoisia, jotta se on helppo sekoittaa nesteeseen.
- 5) Kovettumiskutistumista ei saisi tapahtua.
- 6) Materiaali ei saisi värjätä hampaan rakenteita.
- 7) Sealerin tulisi olla bakteriostaattinen tai ainakaan se ei saa edistää bakteerien kasvua.
- 8) Sealerin tulisi kovettua hitaasti, jotta juurikanavan täyttö on mahdollista toteuttaa.
- 9) Materiaali ei saisi liueta kudostenesteisiin.
- 10) Materiaali ei saa vahingoittaa periapikaalikudoksia.
- 11) Sealerin tulisi olla liuotettavissa yleisesti käytettävillä liuottimilla, mikäli juuritäyteen poisto juurikanavasta on tarpeen.

Hyvän juurikanavasealerin ominaisuuksia ovat pieni pintajännite ja vesitiiviys (Arikatla ym. 2018). Materiaalin asettaminen juurikanavaan tulisi olla helppoa (Ørstavik 2005). Toisaalta se tulisi olla helposti poistettavissa juurikanavasta kemiallisin tai mekaanisin menetelmin, mikäli uusintajuurihoito on indikoitu (Komabayashi ym. 2020). Merkittävimpiä tekijöitä juuritäyttemateriaalin valinnassa ovat sealerin kyky penetroitua dentiinitubuluksiin ja sivukanaviin tehokkaasti ja tasaisesti sekä sealerin adaptaatio juurikanavan seinämiin. Sealerin adheesion ja penetraation asteeseen vaikuttaa lukuisat tekijät, kuten sealerin fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, dentiinin permeabiliteetti, täyttötekniikka ja smear layerin poisto. (Arikatla ym. 2018) Juoksevuus edistää sealerin tunkeutumiskykyä anatomisiin haarautumiin ja tubuluksiin. Liiallisena juoksevuus kuitenkin lisää riskiä materiaalin työntymiselle juurikanavan apikaaliaukosta ympäröiviin periapikaalikudoksiin. Useilla sealereilla on sytotoksisia vaikutuksia, joten työntyessään apikaaliaukosta ympäröiviin pehmyt- ja kovakudoksiin tiivistaine voi aiheuttaa kudოსvaurioita. (Silva Almeida ym. 2017) Seurauksena on periradikulaarikudosten tulehdus, joka voi pitkittää paranemista ja aiheuttaa kipua, arkuutta ja turvotusta (Kaur ym. 2015). Sen vuoksi on tärkeää, että sealeri on bioyhteensopiva, ei-mutageeninen, ei-herkistävä ja ei-sytotoksinen (Silva Almeida ym. 2017, Komabayashi ym. 2020).

Viime aikoina halutuksi ominaisuudeksi on noussut myös bioaktiivisuus eli sealerin kyky stimuloida hydroksiapatiitin muodostumista ollessaan kosketuksissa kehon nesteiden kanssa (Komabayashi ym. 2020). Enää juurikanavan uusintainfektioiden ehkäisy ei pohjaudu ainoastaan bakteeritiiviin juuritäytteen saavuttamiseen. Sen rinnalle tavoiteltaviksi ominaisuuksiksi on nostettu antimikrobiset ominaisuudet sekä bioaktiivinen periapikaalikudosten paranemisen ja kovakudosten muodostumisen edistäminen. (Donnermeyer ym. 2019)

5. TIIVISTEAINEIDEN LUOKITTELU

Markkinoilla on useita koostumukseltaan erilaisia tiivistaineita, mukaan lukien sinkkioksidieugenolipohjaiset, lasi-ionomeeripohjaiset, kalsiumhydroksidipohjaiset, liuotinpohjaiset, silikonipohjaiset, resiniipohjaiset, kalsiumsilikaattipohjaiset ja kalsiumfosfaattipohjaiset sealerit. Kirjallisuudessa juurihoidon tiivistaineiden luokitteluissa on jonkin

verran eroavaisuuksia. Tässä kirjallisuuskatsauksessa luokittelu mukailee yleisimmin käytettyjä tiivistäinryhmien luokitteluja.

5.1 Sinkkioksidieugenolipohjaiset sealerit

Taulukko 1. Sinkkioksidieugenolipohjaiset tiivistäinevalmisteet ja niiden koostumukset.

Valmiste	Tuotemerkki	Koostumus	
Pulp Canal Sealer	Kerr, Yhdysvallat	Jauhe	Sinkkioksidi, saostettu hopea, oleoresiini, tymolijodidi
		Neste	Neilikkaöljy, Kanadan balsami
Proco-Sol	StarDental, Yhdysvallat	Jauhe	Sinkkioksidi, Staybelite-resiini, vismuttisubkarbonaatti, bariumsulfaatti
		Neste	Eugenoli, makea manteliöljy
Tubli-Seal	Kerr, Yhdysvallat	Pohjamateriaali	Sinkkioksidi, vismutttrioksidi, öljy ja vaha, tymolijodidi, bariumsulfaatti
		Katalyytti	Eugenoli, Poly-Pale-resiini, Annidalin
Endofill	Dentsply, Brasilia	Jauhe	Sinkkioksidi, hydrattu resiini, vismuttisubkarbonaatti, bariumsulfaatti, natriumboraatti, deksametasoniasetaatti, hydrokortisoniasetaatti, polyoksimetyleni, tymolijodidi
		Neste	Eugenoli, makea manteliöljy
Rocanal 2	La Maison, Sveitsi	Jauhe	Sinkkioksidi, titaanioksidi, ortofenyylifenoli, kalsiumvolframaatti
		Neste	Eugenoli
Canals	Showa Yakuhin Kano, Japani	Jauhe	Sinkkioksidi, bariumsulfaatti, vismuttisubkarbonaatti, hartsi
		Neste	Neilikkaöljy, oliiviöljy
Nishika Canal Sealer Eugenol	Nippon Shika Yakuhin, Japani	Pasta A	Eugenoli, hartsi, esterikumi
		Pasta B	Oliiviöljy, sinkkioksidi, vismuttisubkarbonaatti
Master-Dent Root Canal Sealer	Dentonics, Yhdysvallat	Jauhe	Sinkkioksidi, Staybelite-resiini, vismuttisubkarbonaatti, bariumsulfaatti, natriumboraatti
		Neste	Eugenoli
Pulpdent Root Canal Sealer	Pulpdent, Yhdysvallat	Jauhe	Sinkkioksidi, kalsiumfosfaatti, sinkkistearaatti, bariumsulfaatti
		Neste	Eugenoli, Kanadan balsami

Sinkkioksidieugenolipohjaiset sealerit ovat olleet käytössä yli sadan vuoden ajan (Kaur ym. 2015). Ne koostuvat sinkkioksidijauheesta ja eugenolinesteestä, jotka sekoitettaessa ja asetettaessa kosteaan juuridentiiniin muodostavat amorfisen geelin (Komabayashi ym. 2020). Radio-opaakkisuutta lisäävinä osina sinkkioksidieugenolipohjaisiin sealereihin on lisätty

esimerkiksi hopeajauhetta tai vismutti- ja bariumsuoloja. Sinkkioksidieugenolipohjaiset sealerit ovat olleet suosiossa hitaan kovettumisen, alhaisen hinnan, helppokäyttöisyyden ja niiden antibakteeristen vaikutusten vuoksi. (Komabayashi ym. 2020) Hyvistä ominaisuuksista huolimatta niillä on toksisia vaikutuksia päästessään kosketuksiin elävien kudosten kanssa (Ørstavik 2005). Kovettuessaan sinkkioksidieugenolipohjaisista sealereista liukenee eugenolia. Liukeneva eugenoli voi aiheuttaa toksisia ja inflammatorisia reaktioita ympäröivissä kudoksissa. Eugenolin liukeneminen materiaalista jatkuu jopa kovettumisen jälkeen. Haittapuolina sinkkioksidieugenolipohjaisilla sealereilla on lisäksi niiden kutistuminen kovettumisen aikana sekä mahdollinen hampaan kudoksia värjäävä vaikutus. (Kaur ym. 2015)

Sinkkioksidieugenolipohjaisia sealereita on saatavilla eri valmistajilta ja niiden koostumukset poikkeavat hieman toisistaan (Ørstavik 2005). Kaupallisesti saatavilla olevia sinkkioksidieugenolipohjaisia sealereita ovat Pulp Canal Sealer, Proco-Sol, Tubli-Seal, Endofill, Rocalcanal 2, Canals, Nishika Canal Sealer Eugenol, Master-Dent Root Canal Sealer ja Pulpdent Root Canal Sealer. Sinkkioksidieugenolipohjaisia sealereita esitellään taulukossa 1. (Komabayashi ym. 2020)

Sinkkioksidieugenolipohjaisia sealereita on yleisesti käytetty myös matriksina muissa sealereissa, joihin on lisätty terapeuttisia lisäaineita. Esimerkki tällaisesta sealerista on sinkkioksidieugenolipohjainen Calciobiotic Root Canal Sealer (CRCS), jota kuitenkin markkinoidaan kalsiumhydroksidipohjaisena tiivistäineenä. (Komabayashi ym. 2020)

5.2 Lasi-ionomeeripohjaiset sealerit

Lasi-ionomeeripohjaisia sealereita on tuotu markkinoille, koska niiden tiiviysominaisuudet ja adheesio juurikanavan seinämään ovat olleet edullisia (Tour Savadkouhi & Fazlyab 2016). Niitä on myös pidetty bioyhteensopivina (Ørstavik 2005). Haittana niissä on kuitenkin se, että materiaalin poisto juurikanavasta uusintajuurihoidon aikana on haastavaa (Tour Savadkouhi & Fazlyab 2016). Lasi-ionomeeripohjaiset sealerit valmistetaan sekoittamalla hienoksi jauhettu silikaattilasijauhe polyakryylihappoon ja muihin vastaaviin happoihin (Komabayashi ym. 2020). Ketac-Endo on markkinoilla oleva lasi-ionomeeripohjainen sealeri. Sen jauhekomponentti sisältää kalsiumalumiinilantaanifluorosilikaattilasiasia, kalsiumvolframaattia, piihappoa ja pigmenttejä. Nestekomponentti puolestaan koostuu vedestä,

viinihaposta, polyetyleenipolyhiilihaposta, maleiinihaposta ja kopolymeerista. Ketac-Endon antimikrobiomaisuudet ovat vähäiset. (Tour Savadkouhi & Fazlyab 2016)

5.3 Kalsiumhydroksidipohjaiset sealerit

Kalsiumhydroksidi (CaOH_2) on hyvin tunnettu ja endodontiassa paljon käytetty antibakteerinen lääkeaine. Sen emäksinen pH saa aikaan soluseinän vaurioita, proteiinien denaturatiota ja bakteerien DNA:n replikaation häiriintymisen. (Brezhnev ym. 2019) Kalsiumhydroksidipohjaisia tiivistaineita on kehitetty niiden antimikrobisen aktiivisuuden ja periapikaalikudosten paranemista edistävän vaikutuksen vuoksi (Desai & Chandler 2009). Niiden osteogeenisen potentiaalin ajatellaan perustuvan materiaalista ympäröiviin kudoksiin vapautuviin kalsium- ja hydroksidi-ioneihin. Ionien vapautuminen edellyttää materiaalin liukenemista, mikä ei toisaalta ole juurentäytteen tiivistaineessa toivottu ominaisuus (Kaur ym. 2015). Antibakteerisen vaikutuksen taustalla on puolestaan hydroksidi-ionien vapautuminen ja korkea pH (Desai & Chandler 2009).

Markkinoilla olevia kalsiumhydroksidipohjaisia sealereita ovat esimerkiksi Sealapex, Apexit ja Apexit Plus (Tour Savadkouhi & Fazlyab 2016). Näiden tiivistaineiden koostumukset on nähtävissä taulukossa 2 (Komabayashi ym. 2020). Kalsiumhydroksidipohjaiset sealerit eivät kaikilta ominaisuuksiltaan täytä ideaalisen sealerin vaatimuksia (Desai & Chandler 2009). Ongelmana niissä on materiaalin liukoisuus, mikä on kuitenkin edellytyksenä terapeuttisten vaikutusten saavuttamiseksi (Desai & Chandler 2009, Komabayashi ym. 2020). Näiden materiaalien kovettumisreaktio on monimutkainen ja epähomogeeninen. Kosteuden vaikutuksesta ulkopinta kovettuu, mutta syvemmissä osissa kovettuminen saattaa jäädä epätäydelliseksi ja koostumus taikinamaiseksi. (Ørstavik 2005) Tutkimustulosten nojalla Sealapex, Apexit ja Apexit Plus eivät myöskään ole onnistuneet toteuttamaan haluttuja kliinisiä vaikutuksia (Komabayashi ym. 2020).

Yleisimmin Sealapex, Apexit ja Apexit Plus luokitellaan niiden terapeuttisen lisäaineen kalsiumhydroksidin mukaisesti kalsiumhydroksidipohjaisiin sealereihin. Komabayashi ym. (2020) puolestaan luokittelee nämä sealerit niiden koostumuksen mukaiseen luokkaan, salisylaattipohjaisiin sealereihin. Kalsiumhydroksidi ei kykene kovettumaan itsenäisesti, joten se tarvitsee ympärilleen kovettuvan matriksin muodostaakseen tehokkaan tiivistaineen.

Kalsiumhydroksidipohjaisiin sealereihin luokiteltavissa tiivistearineissa ei siis ole pääkomponenttina kalsiumhydroksidi nimen herättämästä vaikutelmasta huolimatta. (Komabayashi ym. 2020)

Taulukko 2. Kalsiumhydroksidipohjaiset tiivistearinevalmisteet ja niiden koostumukset.

Valmiste	Tuotemerkki		Koostumus
Sealapex	Kerr, Yhdysvallat	Pohjamateriaali	N-etyylitolueenisulfonamidi, kalsiumoksidi, sinkkioksidi, piidioksidi
		Katalyytti	Metyyilisalisylaatti, 2,2-dimetyylipropaani-1,3-dioli, isobutyylisalisylaatti, vismuttitioksidi, titaanidioksidipigmentti, sinkkistearaatti
Apexit	Ivoclar Vivadent, Lichtenstein	Pohjamateriaali	Kalsiumhydroksidi, sinkkioksidi, kalsiumoksidi, piidioksidi, sinkkistearaatti, hydrattu hartsi, trikalsiumfosfaatti, polydimetyylisiloksaani
		Aktivaattori	Trimetyyliheksaanidiolidisalisylaatti, vismuttikarbonaatti, vismuttioksidi, piidioksidi, 1,3-butaanidiolidisalisylaatti, hydrattu hartsi, trikalsiumfosfaatti, sinkkisitraatti
Apexit Plus	Ivoclar Vivadent, Lichtenstein	Pohjamateriaali	Hydrattu hartsi, kalsiumhydroksidi, kalsiumoksidi, piidioksidi, fosforihappoalkyyliesteri
		Aktivaattori	Disalisylaatti, vismuttihydroksidi, vismuttikarbonaatti, piidioksidi, fosforihappoalkyyliesteri

Kalsiumhydroksidia on lisätty myös muista kemiallisista komponenteista valmistettuihin sealereihin, kuten resiini- ja sinkkioksidieugenolipohjaisiin sealereihin. Sen lisäämisen mahdollisista hyödyistä sealerin ominaisuuksiin on kuitenkin vain rajallisesti näyttöä. (Ørstavik 2005)

5.4 Liuotinpohjaiset sealerit

Kloroperkka on liuotinpohjainen tiivistearine, joka koostuu kloroformiin liuotetusta jauhe- tusta guttaperkasta. Ongelmana siinä on kovettumisen aikana tapahtuva kutistuminen ja sen seurauksena materiaalin vuoto. Huonojen ominaisuuksien vuoksi liuotinpohjaisia materiaaleja ei juurikaan enää käytetä. (Ørstavik 2005)

5.5 Silikonipohjaiset sealerit

Silikonien vettähylykiviä ominaisuuksia, kemiallista stabiliteettia ja adheesio-ominaisuuksia on hyödynnetty endodontiassa (Ørstavik 2005). Silikonipohjaiset sealerit koostuvat polymetyylivinyylisiloksaanista. Lisäksi ne sisältävät platinasuolaa ja polymetyylivetysiloksaania. Ne kovettuvat additioreaktiolla muodostaen polymeerejä. Tähän tiivistaineryhmään kuuluvat GuttaFlow, GuttaFlow 2 ja RoekoSeal. (Komabayashi ym. 2020) RoekoSeal on polydimetyylisiloksaanista koostuva tiivistaine. Sitä pidetään bioyhteensopivana, mutta valmistajan mukaan sillä ei ole antimikrobivaikutusta. Sille ominaista on kovettumisen aikana tapahtuva vähäinen laajeneminen. GuttaFlow puolestaan koostuu RoekoSealista, johon on lisätty hienoksi jauhettua guttaperkkaa. (Tour Savadkouhi & Fazlyab 2016) Silikonipohjaisten sealereiden koostumuksia esitellään taulukossa 3 (Komabayashi ym. 2020).

Taulukko 3. Silikonipohjaiset tiivistainevalmisteet ja niiden koostumukset.

Valmiste	Tuotemerkki	Koostumus	
RoekoSeal	Coltene, Yhdysvallat	Pohjamateriaali	Zirkoniumoksidi, polymetyylivinyylisiloksaani, polymetyylivetysiloksaani
		Katalyytti	Zirkoniumoksidi, polymetyylivinyylisiloksaani, platinakatalyytti
GuttaFlow 2	Coltene, Yhdysvallat	Pohjamateriaali	Zirkoniumoksidi, polymetyylivinyylisiloksaani, polymetyylivetysiloksaani, guttaperkka
		Katalyytti	Zirkoniumoksidi, polymetyylivinyylisiloksaani, platinakatalyytti

5.6 Resiinipohjaiset sealerit

Resiinipohjaiset sealerit ovat olleet käytössä pitkän aikaa ja niiden etuna on adheesio juurikanavan seinämään. Resiinipohjaiset sealerit voidaan jakaa kahteen suureen alaluokkaan: epoksiresiinipohjaisiin ja metakrylaattiresiinipohjaisiin sealereihin. (Tour Savadkouhi & Fazlyab 2016) Taulukossa 4 on nähtävissä sekä epoksiresiinipohjaisia että metakrylaattiresiinipohjaisia tiivistainevalmisteita sekä niiden koostumuksia (Komabayashi ym. 2020).

Epoksiresiinipohjaiset sealerit koostuvat reaktiivista polymeereistä. Ne ovat laajasti käytettyjä johtuen niiden hyvistä tiiviysominaisuuksista, edullisista fysiokemiallisista ja biologisista ominaisuuksista sekä mahdollisuudesta muodostaa kemiallinen kovalenttinen sidosdentiinin kollageeniin. (Brezhnev ym. 2019)

Taulukko 4. Resiinipohjaiset tiivistainevalmisteet ja niiden koostumukset.

Alaluokka	Valmiste	Tuotemerkki		Koostumus
Epoksiresiinit	AH26	Dentsply Sirona, Saksa	Jauhe	Vismuttioksidi, heksametyleeniteramiini, hopeajauhe, titaanioksidi
			Pasta	Bisfenoli-A-diglysidyylietteri
	AH Plus	Dentsply Sirona, Saksa	Pasta A	Bisfenoli-A-epoksiresiini, zirkoniumoksidi, bisfenoli-F-epoksiresiini, kalsiumvolframaatti, rautaoksidi, piidioksidi
			Pasta B	N,N-dibentsyyli-5-oksanonadiamiini-1,9, amantiameamiini, trisyklodekaanidiamiini, kalsiumvolframaatti, zirkoniumoksidi
Metakrylaatti-resiinit	EndoREZ	Ultradent, Yhdysvallat	Pohjamateriaali	Uretaanidimetakrylaatti, bentsoyyliperoksidi
			Katalyytti	Trietyleeniglykolidimetakrylaatti, p-tolyyli-dietanoliamiini
	Epiphany	Resilon Research, Yhdysvallat	Pasta A	Uretaanidimetakrylaatti, polyetyleeniglykolidimetakrylaatti, etoksyloitu bisfenoli-A-dimetakrylaatti, bisfenoli-A-glysidyyli-metakrylaatti, silaanilla käsitellyt bariumborosilikaattilasit, bariumsulfaatti
			Pasta B	Piidioksidi, kalsiumhydroksidi, vismuttioksidikloridi, tiosinamiini, kumeenihydroperoksidi, fotoinitiaattori, stabilisaattorit, pigmentit
	MetaSEAL (Hybrid Root SEAL)	Parkell, Yhdysvallat	Jauhe	Vismuttikarbonaatti, orgaaninen täyteaine, natriumsulfaatti
			Neste	4-metakryylioksietyylitrimellitaattianhydridi/2-hydroksietyylimetakrylaatti, dimetakrylaatit, fotoinitiaattori, vesi
	Super-Bond RC Sealer	Sun Medical, Japani	Jauhe	Zirkoniumdioksidi, polymetyylimetakrylaatti
			Neste	Metyylimetakrylaatti (MMA), 4-metakryylioksietyylitrimellitaattianhydridi
			Katalyytti	Tributyyliboraanioksidi (TBB), heksaani/etanoli

AH26 on hitaasti kovettuva epoksiresiinipohjainen sealeri, joka vapauttaa kovettuessaan formaldehydiä (Kaur ym. 2015). Formaldehydi on bakteereja tappava aine, joka tehoaa suurimpaan osaan gram-negatiivisista ja gram-positiivisista bakteereista ja sienistä (Brezhnev ym. 2019). Sillä voi kuitenkin olla myös haitallisia vaikutuksia, kuten nekroottisia ja kudosten paikallista korjaantumista häiritseviä vaikutuksia (Komabayashi ym. 2020). Sen vuoksi AH26:n pohjalta on kehitetty formaldehydiä vapauttamaton AH Plus (Kaur ym. 2015).

Epoksiresiinipohjainen AH Plus on ollut resiinipohjaisista sealereista menestyksekkäin (Ørstavik 2005). Se on ollut käytössä laajasti jo kahden vuosikymmenen ajan ja sitä on pidetty juuritäytteen tiivistaineiden kultaisena standardina. Sen etuina ovat muun muassa alhainen liukoisuus, vähäinen hajoavuus sekä hyvä dimensionaalinen pysyvyys. (Silva Almeida ym. 2017) Sen antibakteerinen aktiivisuus on kovettumisen ajan korkea (Kapralos ym. 2018). Epoksiresiinipohjaiset sealerit ovat kovettuessaan sytotoksisia. Kovettumisen aikana sytotoksisuus kuitenkin vähenee merkittävästi ja materiaalin kovettutua sytotoksisuus häviää. (Brezhnev ym. 2019) Tiiviysominaisuuksiltaan AH Plus ja AH26 ovat samankaltaiset (Kaur ym. 2015). AH26 koostuu jauheesta ja pastasta ja AH Plus puolestaan kahdesta keskenään sekoitettavasta pastasta. Kun AH Plus myydään pastat automaattisesti sekoittavassa ruiskussa, se tunnetaan nimellä AH Plus Jet. AH Plus on myytävänä maailmalla useilla eri nimikkeillä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa AH Plussaa myydään nimillä ThermoSeal Plus ja Ribbon sealer, kun puolestaan Euroopassa AH Plus tunnetaan myös nimellä TopSeal. (Komabayashi ym. 2020)

Metakrylaattiresiinipohjaisia tiivistaineita on kehitetty sidoksen aikaansaamiseksi sealerin ja juuritäytteen ydinmateriaalin välille. Niiden tavoitteena on ollut luoda juurikanavatilaan sidostuvan tiivistaineen avulla yhtenäinen aukoton täytemassa, monoblokki. Tutkimustulosten mukaan metakrylaattiresiinipohjaisilla tiivistaineilla ei kuitenkaan näytä olevan selkeää hyötyä ei-sidostuviin materiaaleihin verrattuna. (Kim ym. 2010)

Metakrylaattiresiinipohjaisia sealereita ovat EndoREZ, Epiphany, RealSeal, MetaSeal ja Super-Bond RC Sealer (Ørstavik 2005, Tour Savadkouhi & Fazlyab 2016, Komabayashi ym. 2020). EndoREZ koostuu uretaanidimetakrylaattista (UDMA). Sillä on hydrofiilisiä ominaisuuksia, joiden vuoksi se suoriutuu paremmin kosteissa olosuhteissa. EndoREZ:a käytetään yhdessä resiinillä päällystettyjen guttaperkkanastojen kanssa, jolloin tiivistaine sidostuu kanavan seinämän lisäksi myös täyttönastaan. Tarkoituksena on lisätä juuritäytteen adheesiota ja tiiviyyttä. Epiphany puolestaan koostuu BisGMA:sta, UDMA:sta, hydrofiilisistä metakrylaateista ja radio-opaakeista täyteaineista. (Ørstavik 2005) Sitä käytettäessä juuridentifiini esikäsitellään Epiphany primerilla, joka demineralisoi dentiinin ja paljastaa kollageenimatriksin (Komabayashi ym. 2020). Sen jälkeen dentiiniseinämät peitetään sealerilla ja kanavaan laitetaan polyesteristä koostuva Resilon-nasta (Ørstavik 2005). Primerin avulla tiivistaine saadaan sitoutumaan kovalenttisesti dentiiniin polymerisaation aikana. Sealer

kiinnittyy kovalenttisesti myös Resilon-nastan johtaen monoblokin muodostumiseen. (Ørstavik 2005, Komabayashi ym. 2020) Samaa monoblokki-periaatetta edustaa myös metakrylaattiresiinipohjainen RealSeal (Kaur ym. 2015). Epiphany ja RealSeal eivät ole enää markkinoilla, koska niiden esterisidokset ovat herkkiä heikentymään (Komabayashi ym. 2020). Epiphanylla on lisäksi havaittu toksisuutta liittyen polymeroitumattomien monomeerien leviämiseen ympäröiviin kudoksiin (Kaur ym. 2015). Metakrylaattiresiinipohjainen Hybrid Root SEAL, jota markkinoidaan myös nimellä MetaSEAL, muodostuu itseaktivoituvasta etsaajasta, primerista ja sealerista. Se hybridisoi dentiinin resistemäksi alhaiselle pH:lle, mikä saattaa vähentää mikrovuotoa. Super-Bond RC Sealer on metyyylimetakrylaattitributyyliboraani (MMA-TBB) -resiinistä koostuva tiivistaine. Siinä TBB indusoi MMA:n polymeroitumista dentiinin kollageeniin. (Komabayashi ym. 2020)

5.7 Kalsiumsilikaattipohjaiset sealerit

Hiljattain on kehitetty uusi endodontisten sealereiden ryhmä, kalsiumsilikaattipohjaiset sealerit. Kalsiumsilikaattipohjaisia sementtejä, kuten mineraaltrioksididiaggregaattia (MTA) ja Biodentinea, on käytetty hammaslääketieteessä jo viimeisen kahden vuosikymmenen ajan erinomaisten tiiviysominaisuuksien ja bioyhteensopivuuden johdosta moniin kliinisiin sovellutuksiin, kuten pulpan kattamiseen maito- ja pysyvässä hampaistossa, juurenkärjen täyttöihin, pulpaperforaatioiden korjaamiseen ja avojuuristen hampaiden apikaaliseen tulppaamiseen. Näiden suotuisien ominaisuuksien inspiroimana on kehitetty kalsiumsilikaattipohjaiset endodontiset tiivistaineet. (Donnermeyer ym. 2019)

Kalsiumsilikaattipohjaiset sementit ja sealerit kuuluvat biokeraamisiin materiaaleihin (Donnermeyer ym. 2019). Biokeraamiset materiaalit ovat bioyhteensopivia, ei-toksisia, kutistumattomia ja kemiallisesti stabiileja biologisessa ympäristössä. Niillä on kyky muodostaa kovettuessaan hydroksiapatiittia ja luoda sidos dentiinin ja täytemateriaalin välille. (Silva Almeida ym. 2017) Biokeraamisten materiaalien etuna on se, että ne voidaan asettaa elimistöön ilman vierasmateriaalin aiheuttamaa hyljintäreaktiota. Ne ovat seoksia alumiinista, zirkoniasta, bioaktiivisesta lasista, lasikeramiasta, kalsiumsilikaatista, hydroksiapatiitista ja resorboituvasta kalsiumfosfaatista. Biokeraamiset materiaalit jaetaan edelleen bioinertteihin, bioaktiivisiin ja biohajoaviin. Näistä alaryhmistä kalsiumsilikaatit kuuluvat pääasiassa bioaktiivisiin. Biokeraamisten sealereiden kohdalla tulee huomioida, että termi biokeraaminen ei

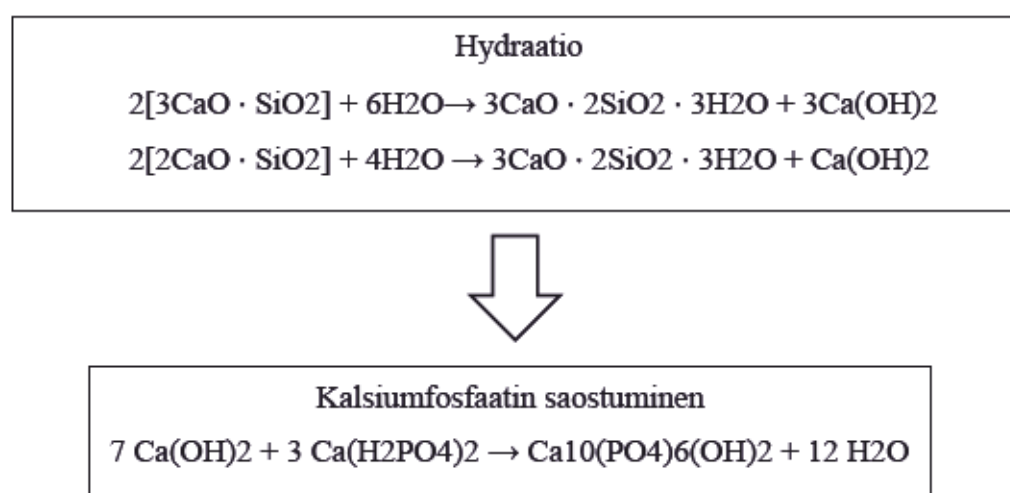
rajaa kalsiumsilikaatteja muista biokeraamisista materiaaleista, kuten kalsiumfosfaattipohjaisista sealereista. (Donnermeyer ym. 2019)

Kalsiumsilikaattipohjaiset biokeraamiset sealerit on tuotu markkinoille niiden biologisten etujen, pääasiassa bioaktiivisen potentiaalin vuoksi (Silva Almeida ym. 2017). Niiden etuina on bioyhteensopivuus, hyvät tiiviysominaisuudet, antibakteerinen aktiivisuus ja osteogeeninen potentiaali (Silva Almeida ym. 2017, Arikatla ym. 2018). Päästessään kosketuksiin kudoksista peräisin olevan veden kanssa kalsiumsilikaatit vapauttavat kalsiumia ja muodostavat kalsiumfosfaattikerroksen, jolloin sealerin ja dentiiniseinämän välille muodostuu kemiallinen sidos (Arikatla ym. 2018). Kalsiumfosfaatti voi edelleen edistää bioaktiivisuutta ja kudoksen kasvua. Kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden bioaktiivinen potentiaali on seurausta näiden materiaalin liukenemisestä. Liukenemista tapahtuu vähäisiä määriä ja se jatkuu vielä materiaalin kovettumisen jälkeenkin. Liukoisuus voi kuitenkin vaarantaa täytteen laadun ja altistaa uusintainfektiolle. (Donnermeyer ym. 2019)

Kalsiumsilikaattipohjaiset sealerit muodostuvat sementtimatriksista ja siihen lisätyistä radio-opaakkisuutta lisääviä partikkeleista kuten vismuttioksidista, zirkoniasta, tantaalioksidista ja bariumzirkonaatista (Donnermeyer ym. 2019, Komabayashi ym. 2020). Kalsiumsilikaattipohjaiset sealerit ovat koostumukseltaan erilaisia ja siksi niiden fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet poikkeavat toisistaan. Erilaisista koostumuksista huolimatta kaikissa pääkomponenttina on kalsiumsilikaatti ja näin ollen myös niiden kovettumisreaktiot ovat toisiaan vastaavat. Suurin ero eri kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden välillä on niiden muodostuminen joko yhdestä tai kahdesta komponentista. Yksikomponenttiset sealerit ovat esisekoitettuja ja ovat sellaisenaan käyttövalmiita. Ne vaativat kovettumiseen ulkoisen veden lähteen, esimerkiksi kehon nesteet. (Donnermeyer ym. 2019) Yksikomponenttiset sealerit ovat helppokäyttöisiä, mutta niiden hinnat ovat korkeat (Komabayashi ym. 2020). Kaksikomponenttisissä sealereissa on puolestaan sisäinen vesivarasto (Donnermeyer ym. 2019). Yksikomponenttisiä sealereita ovat iRoot SP, EndoSeal MTA, CeraSeal, Well-Root ST, Nano-Ceramic Sealer, ja Bio-C Sealer. Kaksikomponenttisiä sealereita ovat puolestaan BioRoot RCS, Grey & Neo MTA Plus, Tech BioSealer Endo, ProRoot ES ja Endo CPM. Kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden koostumukset on nähtävissä taulukossa 5. (Donnermeyer ym. 2019, Komabayashi ym. 2020) Edellä mainitun luokittelutavan lisäksi

kirjallisuudessa tavataan myös kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden alaluokittelua MTA-pohjaisiin ja kalsiumsilikaattipohjaisiin sealereihin (Saad 2020).

Markkinoilla on myös muita kalsiumsilikaattia sisältäviä sealereita, joissa kalsiumsilikaatti on sidottuna erilaisiin matrikseihin. Matrikseina voivat olla esimerkiksi silikonit, resiinit tai kalsiumsalisylaattit. Tällaisia sealereita ovat esimerkiksi MTA Fillapex, GuttaFlow ja Smartpaste. (Donnermeyer ym. 2019) Kirjallisuudessa kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden luokitteluissa havaitaan runsaasti eroavaisuuksia. Osa kirjallisuudesta luokittelee edellä mainitut sealerit kalsiumsilikaattipohjaisiin sealereihin, vaikka kalsiumsilikaatti ei ole niissä pääkomponenttina. Reagoimattomassa matriksissa esiintyessään kalsiumsilikaattien biologiset vaikutukset ovat kyseenalaiset (Donnermeyer ym. 2019). Sen vuoksi näitä tiivistäaineita ei tässä kirjallisuuskatsauksessa luokitella kalsiumsilikaattipohjaisiin sealereihin.



Kuvio 1. Kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden kovettumisreaktiot. Hydraatioreaktio voidaan osoittaa kahdella yhtälöllä.

Kaikilla kalsiumsilikaattipohjaisilla sealereilla kovettumisreaktiot ovat pääpiirteittäin samanlaiset (kuvio 1). Kovettuminen alkaa hydraatioreaktiolla, jossa kalsiumsilikaatti kovettuu reagoimalla veden kanssa. Hydraation sivutuotteena syntyy kalsiumhydroksidia. Syntyvä kalsiumhydroksidi on edellytyksenä kalsiumsilikaattien biologisille ominaisuuksille. Hydraatiota seuraa kalsiumfosfaatin saostuminen. (Donnermeyer ym. 2019) Muodostunut

kalsiumhydroksidi reagoi fosfaatti-ionien kanssa, jolloin saostuu hydroksiapatiittia ja muodostuu sivutuotteena vettä (Saad 2020). Tämä reaktio voi osaltaa edistää bioaktiivisuutta ja kudostuskasvua, sillä päästessään kosketuksiin luun kanssa mineraalihydroksiapatiitilla on luun muodostusta edistävä vaikutus (Donnermeyer ym. 2019, Saad 2020). Hydraatioreaktiossa kalsiumhydroksidin ympärille muodostuu hydraattimatriksi, jossa kalsiumsilikaattihydraattia on monenlaisissa eri muodoissa (Donnermeyer ym. 2019, Komabayashi ym. 2020). Huokoinen kalsiumsilikaattihydraatti kovettuu lopulta kiinteäksi verkostoksi. Kokonaisuudessaan kalsiumsilikaatin täydellinen kovettuminen kestää useita päiviä. (Donnermeyer ym. 2019)

Vuonna 2007 markkinoille tuli ensimmäinen kalsiumsilikaattipohjainen sealeri iRoot SP (Donnermeyer ym. 2019). iRoot SP on yksikomponenttinen sealeri (Komabayashi ym. 2020). Esisekoitettuna sen applikointi juurikanavaan on helppoa ja tehokasta (Saad 2020). Sillä on esitetty olevan fysiokemiallisia ja biologisia etuja. Se saa aikaan luun kasvua ja ihmisen kasvojen ja pään alueen mesenkymaalisten kantasolujen erilaistumista ja siten edistää periapikaalista paranemista. Kalsiumsilikaattipohjaisena sealerina sillä on kyky muodostaa hydroksiapatiittia. Lisäksi sillä on hyvä antibakteerinen aktiivisuus. Apikaalisesti sen tiivistyskyky on hyvä ja sen sidostuvuus juurikanavan dentiiniin on suotuisa. Sillä on korkea pH-arvo (11,5) ja emäksisyys säilyy jopa kovettumisen jälkeen. Myös sen radio-opaakiset ominaisuudet ovat hyvät. iRoot SP:n käytöstä on saatu hyviä tutkimustuloksia myös kehittyvien hampaiden partiaalipulpotomioissa vaihtoehtona MTA:lle. (Saad 2020)

iRoot SP:ta markkinoidaan myös muilla eri tuotemerkkien nimillä, joita ovat EndoSequence BC Sealer, TotalFill BC ja Edge Endo Sealer. Kaikki edellä mainitut tiivistäinevalmisteet ovat samalta valmistajalta (Innovative Bioceramics) ja koostumukseltaan täysin samanlaisia. (Komabayashi ym. 2020) iRoot SP:n jälkeen markkinoille on tuotu myös muita kalsiumsilikaattiin pohjautuvia sealereita (Donnermeyer ym. 2019).

Markkinoilla olevat kalsiumsilikaattipohjaiset sealerit on pääasiassa käytettävissä vain kylmätäyttekniikoihin, koska niiden kanavan sisäisen kuumenemisen vaikutukset ovat vielä tuntemattomat. Ensimmäinen markkinoille saapunut lämmintäyttekniikoihin soveltuva kalsiumsilikaattipohjainen sealeri on EndoSequence BC Sealer Hi-Flow. Sen ominaisuuksista on kuitenkin vielä vähän tieteellisiä julkaisuja. (Donnermeyer ym. 2019)

Taulukko 5. Kalsiumsilikaattipohjaiset tiivisteainevalmisteet ja niiden koostumukset.

	Valmiste	Tuotemerkki	Koostumus	
1-komponenttiset materiaalit	iRoot SP/	Innovative	Zirkoniumoksidi, kalsiumsilikaatit, kalsiumfosfaatti, kalsiumhydroksidi, täyteaine, sakeuttamisaineet	
	EndoSequence	Bioceramix, Kanada/		
	BC Sealer/	Brasseler, Yhdysvallat/		
	TotalFill BC/	FKG Dentaire, Sveitsi/		
	Edge Endo Sealer	Edge Endo, Yhdysvallat		
	EndoSeal MTA	Maruchi, Korea	Kalsiumsilikaatit, kalsiumaluminaatit, kalsiumalumiiniferriitti, kalsiumsulfaattit, radio-opaakkinen lisäaine, sakeuttamisaine	
	Ceraseal	MetaBiomed, Korea	Kalsiumsilikaatit, zirkoniumoksidi, sakeuttamisaine	
2-komponenttiset materiaalit	Well-Root ST	Vericom, Korea	Kalsiumalumiinisilikaatti, zirkoniumoksidi, lisäaine, sakeuttamisaine	
	Nano-Ceramic Sealer	B&L Biotech, Yhdysvallat	Kalsiumsilikaatit, zirkoniumoksidi, lisäaine, sakeuttamisaine	
	Bio-C Sealer	Angelus, Brasilia	Kalsiumsilikaatit, kalsiumaluminaatit, kalsiumoksidi, zirkoniumoksidi, ferrioksidi, piidioksidi, sakeuttamisaine	
	BioRoot RCS	Septodont, Ranska	Jauhe Neste	Trikalsiumsilikaatti, zirkoniumoksidi, povidoni Vesipohjainen kalsiumkloridi- ja polykarboksylaattiliuos
	Endo CPM Sealer	EGEO SRL, Argentiina	Jauhe Neste	Mineraalitrioksidiaaggregaatti, vismuttioksidi, bariumsulfaatti, piidioksidi Vesipohjainen kalsiumkloridi-, natriumsitraatti-, propyleeniglykolialginaatti- ja propyleeniglykolipitoinen liuos
	ProRoot ES	Dentsply, Yhdysvallat	Jauhe Neste	Trikalsiumsilikaatti, dikalsiumsilikaatti, kalsiumsulfaatti, vismuttioksiditrikalsiumaluminaatti Vesi, viskoosi vesiliukoinen polymeeri
	Grey & Neo MTA Plus	NuSmile Avalon Biomed, Yhdysvallat	Jauhe Neste	Trikalsiumsilikaatti, tantalii, dikalsiumsilikaatti, kalsiumsulfaatti, piidioksidi Vesipohjainen geeli
	Tech BioSealer Endo	Isasan SRL, Italia	Jauhe Neste	Valkoinen Portland-sementti, vismuttioksidi, anhydridi, natriumfluoridi Alfacaine SP -liuos (4% artikaania ja 1/100 000 adrenaliinia)

5.8 Kalsiumfosfaattipohjaiset sealerit

Biokeraamisiin materiaaleihin kuuluvat myös kalsiumfosfaattipohjaiset sealerit. Markkinoilla kalsiumfosfaattipohjaisia sealereita on useita. Esimerkkinä tämän ryhmän tiivistearneista ovat Sankin apatite root canal sealer (tyypit I, II ja III) ja Capseal I ja II. Sekä Sankin apatite root canal sealer että Capsel koostuvat jauheesta ja nesteestä. Tarkemmat koostumukset nähdään taulukossa 6. Kalsiumfosfaattipohjaisissa tiivistearneissa on ollut vielä isoja ongelmia, kuten niiden kovettumisominaisuudet ja liukoisuus. (Saad 2020)

Taulukko 6. Kalsiumfosfaattipohjaiset tiivistearnevalmisteet ja niiden koostumukset.

Valmiste	Tuotemerkki	Koostumus	
Sankin apatite root canal sealer (I, II, ja III)	Sankin Kogyo, Japani	Jauhe	Tyypissä I alfatrikalsiumfosfaatti ja hydroksi-Sankin apatiitti, tyyppiin II lisätty jodoformia (30%) ja tyyppiin III (5%)
		Neste	Polyakryylihapo ja vesi
Capseal (I ja II)	Kokeellinen	Jauhe	Tetrakalsiumfosfaatti, vedetön dikalsiumfosfaatti, Portland-sementti (harmaa sementti tyypissä I, valkoinen tyypissä II), zirkoniumoksidi, muut jauhekomponentit
		Neste	Hydroksipropyylimetyyliselluloosa, natriumfosfaattineste

6. MATERIAALIEN VERTAILU

Markkinoilla on tarjolla laaja valikoima erilaisia tiivistearneita. Materiaalia valitessaan kliinikon tulee arvioida huolellisesti tiivistearneiden kaikkia ominaisuuksia. (Kaur ym. 2015) Vertailua tehdään yleensä tiivistearneiden bioyhteensopivuuden, helppokäyttöisyyden, antibakteeristen ominaisuuksien, dentiini-adhesiivisuuden sekä muiden ominaisuuksien perusteella (Blicher ym. 2016). Kirjallisuudessa vertailua on tehty enimmäkseen yleisimmin käytettyjen juuritäytteen tiivistearneiden kesken. Paljon on verrattu myös uusia kalsiumsilikaattipohjaisia tiivistearneita perinteisiin tiivistearneryhmisiin. Tässä kirjallisuuskatsauksessa materiaalien vertailu painottuu suurelta osin yleisimpien tiivistearneryhmien ominaisuuksien vertailuun.

6.1. Fysiokemialliset ominaisuudet

Tiivisteaineiden fysiokemiallisia ominaisuuksia verrataan usein ISO-standardin (6876) asettamiin vaatimuksiin.

6.1.1. Radio-opaakisuus

Juuritäytteen tiivisteaineen tulee olla erotettavissa röntgenkuvassa anatomisista rakenteista, jotta juuritäytteen laatua voidaan arvioida radiologisesti (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). Radio-opaakisuutta lisätään materiaaliin erilaisilla lisäaineilla, kuten metallisuoloilla. Juuritäytteen radio-opaakisuuteen vaikuttaa lisäksi tiivisteaineen tyyppi ja paksuus. (Desai & Chandler 2009) ISO-standardin (6876:2012) mukaan materiaalin radio-opaakisuuden tulisi vastata vähintään 3,00 millimetrin paksuista alumiinia (Donnermeyer ym. 2019).

Kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden iRoot SP:n, BioRoot RCS:n, Endoseal MTA:n ja Endo CPM:n radio-opaakiset ominaisuudet ovat tutkimusten mukaan täyttäneet ISO-standardin vaatimukset (Donnermeyer ym. 2019). EndoSequence BC:n radio-opaakisuusarvoksi on raportoitu 3,83 millimetriä ja Endo CPM:n kuusi millimetriä. Endo CPM:n korkea radio-opaakisuus johtuu sen sisältämästä vismuttitrioksidista. (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016) AH Plussalla on tunnetusti hyvät radio-opaakiset ominaisuudet. Sen radio-opaakisuuden on raportoitu vastaavan 6,93 millimetrin paksuista alumiinia. (Silva Almeida ym. 2017) Useisiin muihin tiivisteaineisiin verrattuna kalsiumhydroksidipohjaisen Sealapexin radio-opaakisuus on todettu matalammaksi. Eri tutkimuksissa sen radio-opaakisuus on kuitenkin vaihdellut. Sen radio-opaakisuusarvoiksi on raportoitu esimerkiksi kaksi ja kuusi millimetriä. Erot tutkimustuloksissa selittyvät Sealapexin uuden muotoilun sisältämällä vismuttitrioksidilla. (Desai & Chandler 2009)

6.1.2. Juoksevuus ja filmin paksuus

Juoksevuus on tiivisteaineelle tärkeä ominaisuus, sillä se sallii sealerin tunkeutumisen vaikeapääsyisiin anatomisiin epätasaisuuksiin ja täyttönastojen välisiin aukkoihin (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). Se ei kuitenkaan saa nostaa liiallisesti riskiä materiaalin työntymiselle apikaaliaukosta ympäröiviin kudoksiin (Silva Almeida ym. 2017). Materiaalin juoksevuu-teen vaikuttavia tekijöitä ovat partikkelikoko, lämpötila, leikkausjännitys ja sekoituksesta

kulunut aika (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). ISO-standardin (6876:2012) mukaan juurikanavan tiivistekaineen juoksevuuden tulee olla suurempi kuin 17 millimetriä.

Juoksevuuressa kalsiumsilikaattipohjaiset sealerit iRoot SP, Endoseal MTA ja Endo CPM täyttivät ISO-standardin (6876:2012) mukaiset vaatimukset. Yhden tutkimuksen mukaan BioRoot RCS:n juoksevuus ei yltänyt ISO-standardin asettamiin vaatimuksiin. (Donnermeyer ym. 2019) AH Plusilla juoksevuus on hyvä johtuen sen korkeasta epoksiresiniipitoisuudesta (Arikatla ym. 2018).

ISO-standardi asettaa tiivistekaineille tavoitteeksi saavuttaa vähintään 50 mikrometrin paksuinen filmi. iRoot SP, BioRoot RCS ja EndoSeal MTA ovat useissa tutkimuksissa saavuttaneet tämän tavoitteen. BioRoot RCS:n osalta on saatu myös vaihtelevia tuloksia. AH Plusaan verrattuna iRoot SP:lla filmin paksuuden on havaittu olevan korkeampi. (Donnermeyer ym. 2019)

6.1.3 Kovettumisaika

Ideaalinen kovettumisaika mahdollistaa riittävän työskentelyajan materiaalin käsittelyyn (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). Riittävän hidas kovettuminen sallii tiivistekaineen tunkeutua paremmin anatomisiin epätasaisuuksiin (Komabayashi ym. 2020). Koska useimmat tiivistekaineet ovat jonkin verran sytotoksisia kovettumisen aikana, voi hidas kovettuminen kuitenkin johtaa kudosaärsytykseen (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). Nopea kovettuminen voi olla indikoitua aikasensitiivisissä tilanteissa, joissa juurentäyttö on tärkeää saada valmiiksi nopeasti. Kirjallisuuden mukaan suurimmalla osalla tiivistekaineryhmistä kovettumisaika on hyväksyttävä ja ylittää huomattavasti yhden tunnin. Poikkeuksena tästä ovat kuitenkin olleet silikonipohjaiset sealerit. (Komabayashi ym. 2020)

Yksikomponenttisten eli ulkoisen vedenlähteen tarvitsevien kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden kovettumisreaktiosta on saatu vaihtelevia tuloksia (Donnermeyer ym. 2019). Valmistajan mukaan EndoSequence BC:n ja iRoot SP:n kovettumisreaktiota katalysoi dentinitubuluksista peräisin oleva kosteus ja tällöin normaali kovettuminen kestää neljä tuntia. Todellisissa olosuhteissa, erityisesti kuivissa juurikanavissa, kovettuminen saattaa kestää huomattavasti pidempään. Tutkimuksissa EndoSequence BC:n kovettuminen on vaihdellut

jopa 2,7 ja 168 tunnin välillä. (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016) iRoot SP:llä on tutkimuksissa havaittu pitkittyneitä kovettumisaikoja, jopa 52 tunnista 168 tuntiin. Toisissa tutkimuksissa kovettumisaika on ollut 2,7 ja 4,7 tunnin suuruusluokkaa. Yhdessä tutkimuksessa iRoot SP:n kovettuminen jäi kosteissa inkubaattoriolosuhteissa vajaaksi jopa neljän viikon jälkeen. Myös lämpötilalla on havaittu olevan vaikutusta iRoot SP:n kovettumiseen. Endoseal MTA:n ja kaksikomponenttisen BioRoot RCS:n kovettumisen on raportoitu tapahtuvan kuivissa olosuhteissa täydellisesti. BioRoot RCS:llä täysi kovettuminen tapahtuu keskimäärin viidessä tunnissa. (Donnermeyer ym. 2019)

Myös sinkkioksidieugenolipohjaisilla sealereilla kovettumisajoissa on havaittu huomattavasti vaihtelua. Osallisena vaihteluun voi olla se, että sinkkioksidieugenolipohjaisten sealeiden kovettuminen tarvitsee käynnistyäkseen vettä. Esimerkiksi Proco-Solin kovettumisaika on vaihdellut suuruudeltaan 40,5 minuutista 42 tuntiin. Tubli-Seal sealerilla kovettuminen on puolestaan tapahtunut keskimäärin tunnissa. (Komabayashi ym. 2020)

Epoksiresiinipohjaisista sealereista AH26:lla kovettumisajaksi on raportoitu 34 tuntia ja AH Plussalla kahdeksan tuntia. Metakrylaattiresiinipohjaisella Super-Bond RC Sealerilla puolestaan kovettumisajan on havaittu olevan 42 minuuttia. Lasi-ionomeeripohjaisella Ketac-Bondilla kovettumisaika on 2,5 tuntia ja kalsiumhydroksidipohjainen Sealapex kovettuu keskimäärin 58 minuutissa. (Komabayashi ym. 2020) Silikonipohjaisen RoekoSealin kovettumisajan on osoitettu vaihtelevan (Tour Savadkouhi & Fazlyab 2016). GuttaFlow:lla kovettumisaika puolestaan on kaikista tiivisteinetyypeistä lyhin, vain 17,4 minuuttia (Komabayashi ym. 2020).

6.1.4 Liukoisuus

Liukoisuudella tarkoitetaan materiaalin massan menetystä, kun se upotetaan veteen (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). ISO-standardi (6876) on asettanut materiaalin liukoisuudelle vaatimukset, joiden mukaan painon menetys tulee olla alle kolme prosenttia, kun materiaali upotetaan veteen 24 tunnin ajaksi (Donnermeyer ym. 2019). Korkea liukoisuus on haitallinen ominaisuus, koska se voi johtaa juuritäytteen sisäisten sekä täyttömateriaalin ja juuridentiinin välisten aukkojen muodostumiseen. Juuritäytteessä olevat aukot altistavat sekä koronaali- että apikaalisuunnasta tapahtuvalle vuodolle. (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016)

Kalsiumhydroksidin vuoto eli materiaalin liukeneminen on edellytyksenä kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden bioaktiiviselle potentiaalille. Liukeneminen on pienimuotoista ja se jatkuu kovettumisen jälkeen. (Donnermeyer ym. 2019) Emäksiset olosuhteet edelleen suosivat kalsium-ionien vapautumista (Silva Almeida ym. 2017). Kalsiumhydroksidin vapautuminen ja emäksisyys toimivat antibakteerisina ja anti-inflammatorisina tekijöinä stimuloiden kuvakudosten muodostumista ja edistämien periapikaalisten kudosten paranemista. Liukoisuus kuitenkin vaarantaa täytteen laadun ja altistaa juurikanavan mikrobien kasvulle ja uusintainfektiolle. (Donnermeyer ym. 2019)

Kalsiumsilikaattipohjaisten materiaalien liukoisuudesta on saatu ristiriitaisia tuloksia (Donnermeyer ym. 2019). Erot tutkimustuloksissa voivat johtua erilaisista menetelmistä (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). Osassa tutkimuksista kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden liukoisuuden on havaittu täyttävän ISO-standardin mukaiset kriteerit ja toisissa tutkimuksissa tulokset ovat olleet päinvastaisia. iRoot SP:llä liukoisuus on suurempaa kuin muilla biokeeraamisilla materiaaleilla. (Donnermeyer ym. 2019) Eräässä tutkimuksessa iRoot SP:n liukoisuuden on havaittu olevan jopa 20,64 prosenttia (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). Verrattuna epoksiresiinipohjaisiin sealereihin kalsiumsilikaattipohjaisilla sealereilla liukoisuuden on todettu olevan suurempaa (Donnermeyer ym. 2019). AH Plussalla liukoisuuden on raportoitu olevan ISO-standardin vaatimuksen mukainen, vain 0,16 prosenttia (Komabayashi ym. 2020).

Kalsiumhydroksidipohjaiset sealerit ovat toinen tiivistäinryhmä, joiden halutut terapeutiset vaikutukset, eli osteo- ja sementogeeninen potentiaali, ovat riippuvaisia materiaalin liukoisuudesta (Kaur ym. 2015). Liukoisuus on kuitenkin ollut myös näiden materiaalien ongelmana. Apexitilla liukoisuuden on havaittu olevan erittäin korkea verrattuna AH Plussaan ja sinkkioksidieugenolipohjaiseen Tubli-Sealiin. (Desai & Chandler 2009) Sealapexin liukoisuuden on toisaalta raportoitu olevan ISO-standardin vaatimusten mukainen (Komabayashi ym. 2020).

Sinkkioksidieugenolipohjaisilla ja lasi-ionomeeripohjaisilla sealereilla liukoisuus on täyttänyt ISO-standardin vaatimukset. Silikonipohjaisella GuttaFlow:lla liukoisuus veteen on

havaittu olevan vain 0,13 prosenttia, joten myös se täyttää ISO-standardin asettamat kriteerit. (Komabayashi ym. 2020)

6.1.5 pH

Emäksinen pH on edullinen ominaisuus tiivisteaineelle, koska se myötävaikuttaa materiaalin bioyhteesopivuuteen ja antibakteeriseen aktiivisuuteen. Emäksisillä sealereilla, erityisesti biokeraamisilla sealereilla, on kyky edistää kovakudosten muodostusta. (Silva Almeida ym. 2017)

Kalsiumsilikaattipohjaiset sealerit ovat tutkimuksissa osoittautuneet hyvin emäksisiksi. iRoot SP:lla on useissa tutkimuksissa ollut korkea pH sekä ennen kovettumista että sen jälkeen. Tutkittaessa BioRoot RCS:ää on havaittu, että sen pH on ollut jatkuvassa laskussa kuuden kuukauden seurantajakson aikana, mutta jopa sen jälkeen pH on edelleen ollut emäksinen. (Donnermeyer ym. 2019)

AH Plussan pH on heti sekoittamisen jälkeen emäksinen, mutta kovettumisen aikana pH laskee lähelle neutraalia. Metakrylaattipohjaiset sealerit, kuten EndoREZ ja Epiphany ovat puolestaan happamia. (Silva Almeida ym. 2017)

Kalsiumhydroksidipohjaisten sealereiden Sealapexin ja Apexitin pH:n on useissa tutkimuksissa raportoitu olevan emäksinen. Emäksisyyden taustalla on niiden sisältämä korkeasti emäksinen kalsiumhydroksidi. (Desai & Chandler 2009)

6.2 Bioyhteesopivuus ja toksisuus

Juurihoidossa pyritään siihen, että tiivisteaine pysyy täytön aikana juurikanavan sisällä. Joskus tiivisteainetta saattaa kuitenkin työntyä apikaaliaukosta juurta ympäröiviin pehmyt- ja kovakudoksiin aiheuttaen paikallisen inflammaation ja häiriten periapikaalisen parodontiitin paranemista. (Kaur ym. 2015) Bioyhteesopivuutta arvioidaan usein tutkimalla materiaalin sytotoksisuutta (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). Kaikilla yleisesti käytetyillä sealereilla on mahdollinen biologinen riski indusoida kudoksissa toksisia reaktioita, joiden seurauksia ovat kudossauriot ja tulehdusvaste periapikaalialueella. Kaikki sealerit ovat jonkin verran

toksisia heti sekoittamisen jälkeen, jolloin ne applikoidaan juurikanavaan. Alkuvaiheessa ne voivat aiheuttaa voimakkaan neutrofiili-infiltraation alueelle. Toksisuuden tulee kuitenkin laskea huomattavasti kovettumisen aikana. Muutokset materiaalin toksisuudessa sekoittamisen jälkeen ovat todennäköisesti seurausta toksisten komponenttien liukenemisesta ympäristöön. Ajan myötä toksisten aineiden liukenemisen ajatellaan vähenevän, jolloin myös sealerin sytotoksisuus vähenee. (Kaur ym. 2015) Sytotoksisuutta ja bioyhteensopivuutta arvioidessa tulee huomioida, että vaikka materiaali olisi havaittu olevan erittäin sytotoksinen in vitro -olosuhteissa, ei toksisuudella välttämättä ole kliinistä merkitystä (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016).

Sinkkioksidieugenolipohjaisissa sealereissa on havaittu olevan sekä ärsyttäviä että sytotoksisia aineita. Ne kykenevät aktivoimaan komplementtivälitteisen immuunivasteen ja aiheuttamaan merkittäviä fibroblastivaurioita. (Komabayashi ym. 2020) Sinkkioksidieugenolipohjaisten sealereiden sytotoksisuus on ollut kohtalaista tai jopa voimakasta. Kovettumisen aikana ja jälkeen niistä voi vapautua sytotoksista eugenolia. Sinkkioksidieugenolipohjaisten sealereiden käyttöön on havaittu liittyvän paikallista tulehdusta sekä pehmyt- että kovakudoksissa. (Kaur ym. 2015)

Kalsiumhydroksidipohjaisia Sealapexia ja Apexitia on pidetty vähemmän toksisena verrattuna resiini- ja sinkkioksidieugenolipohjaisiin sealereihin. Verrattaessa kalsiumhydroksidipohjaisia materiaaleja keskenään Apexitin on havaittu aiheuttavan voimakkaamman tulehdusreaktion ympäröivissä kudoksissa kuin Sealapexin. (Desai & Chandler 2009) Kalsiumhydroksidipohjainen Sealapex on kuitenkin useissa tutkimuksissa osoittautunut sytotoksiseksi. Sen on havaittu aiheuttavan jopa intensiivisiä inflammatorisia reaktioita. Sytotoksisuuden taustalla ovat todennäköisesti sen lisäaineet, kuten polymetyleenimetyylisalisylaattiresiini ja isobutyylisalisylaatti. Toinen mahdollinen selittävä tekijä on kalsiumhydroksidin korkea pH. (Kaur ym. 2015) Kaur ym. ovat selvittäneet meta-analyysissään sinkkioksidieugenoli-, kalsiumhydroksidi- ja resiinipohjaisten sealereiden biotoksisuutta. Tulosten mukaan näiden kolmen tiivistearieryhmän toksisuudessa oli tilastollisesti merkitsevä ero. Kolmen päivän seurannan jälkeen kalsiumhydroksidi- ja sinkkioksidieugenolipohjaiset sealerit havaittiin olevan merkittävästi biotoksisempia kuin resiinipohjaisten sealereiden. Näistä kolmesta ryhmästä toksisimmaksi osoittautui kalsiumhydroksidipohjaiset tiivistearieryhmät. Tämä on ristiriidassa aiempien tutkimustulosten kanssa, joiden mukaan

kalsiumhydroksidipohjaisia sealereita on pidetty biologisina sealereina. Meta-analyysin mukaan tutkimustuloksissa esiintyy kuitenkin vaihtelevuutta. (Kaur ym. 2015)

Yleisesti kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden on todettu olevan bioyhteensopivia, ei-sytotoksisia ja ei-genotoksisia tiivistaineina. Tutkimuksissa iRoot SP:n on raportoitu olevan bioyhteensopiva. (Donnermeyer ym. 2019) Se on tutkimusten mukaan heti sekoittamisen jälkeen kohtalaisen toksinen, mutta sytotoksisuus vähenee kovettumisen aikana (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). Toksiset vaikutukset useisiin soluryhmiin, kuten parodontaaliligamentin soluihin, osteoblastien kaltaisiin soluihin, ovat olleet vähäisiä. Ollessaan kontaktissa ihmisen parodontaaliligamentin solujen kanssa siihen on todettu liittyvän vain matalia proinflammatoristen tulehdusvälittäjaineiden tasoja. iRoot SP:n on havaittu olevan vähemmän sytotoksinen verrattuna AH Plussaan ja sinkkioksidieugenolipohjaisiin sealereihin. Tutkittaessa sealereiden vaikutuksia ikenen fibroblasteihin niiden ollessa suorassa kontaktissa tiivistaineeseen, iRoot SP:n jälkeen elinkelpoisia soluja on ollut enemmän ja sen genotoksiset vaikutukset ovat olleet vähäisemmät verrattuna AH Plussaan. Toisaalta toisessa tutkimuksessa AH Plussan ja iRoot SP:n sytotoksisuudet ihmisen hampaan kantasoluihin ovat olleet samankaltaiset. Osteogeeninen potentiaali iRoot SP:lla on hyvä ja sen on havaittu edistävän ihmisen hampaan kantasolujen erilaistumista odontoblastien kaltaisiksi soluiksi. iRoot SP:n läsnä ollessa ihmisen osteoblastien kaltaisten solujen on raportoitu myös tuottavan enemmän mineralisoituneen matriksin geeni- ja proteiiniekspressiota verrattuna AH Plussaan. (Donnermeyer ym. 2019)

Myös BioRoot RCS on useissa tutkimuksissa osoittautunut bioyhteensopivaksi. Sen toksiset vaikutukset parodontaaliligamentin soluihin ovat olleet vähäiset. Vertailussa sen on todettu olevan vähemmän sytotoksinen kuin epoksiresiinipohjaisten ja sinkkioksidieugenolipohjaisten sealereiden. BioRoot RCS:aan verrattuna Endoseal MTA:n on havaittu olevan vähemmän bioyhteensopiva ihmisen parodontaaliligamentin soluille, mutta muiden kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden mukaisesti se vaikuttaa päihittävän bioyhteensopivuudeltaan epoksiresiinipohjaisen AH Plussan. (Donnermeyer ym. 2019)

Yleisesti kovettumattomilla resiinipohjaisilla sealereilla bioyhteensopivuus on rajallinen (Komabayashi ym. 2020). Resiinipohjaisten sealereiden toksisuuden taustalla voi olla epätäydellisen polymerisaation seurauksena materiaaliin jääneet toksiset polymeroitumattomat

monomeerit, jotka voivat liueta ympäröiviin kudoksiin. Sytotoksisuuden taustalla voi myös olla niistä vapautuva formaldehydi. Formaldehydiä vapautuu AH26:sta kovettumisen aikana. Siksi formaldehydiä vapauttamaton AH Plus on sytotoksisuudeltaan parempi. Edellisten lisäksi resiinipohjaisissa materiaaleissa esiintyvä bisfenoli-A-diglyseridi on mutageeninen ja sytotoksisuutta lisäävä ainesosa. (Kaur ym. 2015) Epoksiresiinipohjaisten sealereiden käyttöön on liitetty korkeita inflammaatiotasoja niin periapikaali- kuin ihonalaiskudoksissa. Sinkkioksidieugenolipohjaisiin sealereihin verrattuna AH Plussan aiheuttamat tulehdusreaktiot ovat kuitenkin olleet lievempiä. Metakrylaattipolymeerien sytotoksisuus on kovettumisen jälkeen havaittu olevan olematon. Sytotoksisuutta ja inflammaatiota niillä esiintyy vain kovettumisen varhaisissa vaiheissa. Metakrylaattipohjaisista materiaaleista liukenevat ainesosat ovat kuitenkin osoittautuneet aiheuttavan solukuolemaa. AH Plussaan verrattuna EndoRez on raportoitu sytotoksisemmaksi. Metakrylaattiresiinipohjaiset MetaSEAL ja Super-Bond RC Sealer puolestaan ovat olleet vähemmän sytotoksisia kuin AH Plus. (Komabayashi ym. 2020)

Silikonipohjaisia sealereita pidetään bioyhteensopivina. Verrattuna epoksiresiinipohjaisiin AH26:een ja AH Plussaan niiden sytotoksisuudesta on raportoitu samankaltaisia ja jopa alhaisempia arvoja. (Komabayashi ym. 2020)

Kalsiumfosfaattipohjaisen sealerin Sankin apatite tyyppi I:n on havaittu olevan sytotoksinen ja aiheuttavan merkittävän inflammaatioreaktion kudoksissa. Sytotoksisuus on seurausta Sankin apatiten sisältämästä jodoformista ja polyakryylihapoista. Sankin apatite tyypit II ja III on todettu bioyhteensopivammiksi tyyppiin I verrattuna. Capseal I ja II -sealereiden on havaittu aiheuttavat vähemmän kudosaärsytystä ja inflammaatiota kuin muiden sealereiden. (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016)

Lasi-ionomeerimateriaalien sytotoksisuustasot ovat yleensä olleet alhaiset pitkällä aikavälillä, mikä puoltaisi niiden bioyhteensopivuutta. Lasi-ionomeeripohjaisten sealereiden on kuitenkin havaittu aiheuttavan tulehdusreaktioita. (Komabayashi ym. 2020)

6.3 Antimikrobiominaisuudet

Antibakteerisen aktiivisuuden ajatellaan lisäävän juurihoidon onnistumisen todennäköisyyttä eliminoimalla juurihoidon jälkeen kanavatilaan jääneitä jäännösbakteereja ja ehkäisemällä bakteerivuotoa. Kirjallisuuden mukaan tärkeimmät sealerin antibakteerisuutta lisäävät ominaisuudet ovat emäksisyys ja mineralisoituneiden kudosten korjaantumista edistävien kalsiumionien vapautuminen. (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016) Ei ole selkeää näkemystä siitä, kuinka tarpeellista sealerin antimikrobinen aktiivisuus on juurihoidon onnistumisen kannalta. Kemomekaanista preparointia pidetään edelleen tärkeimpänä vaiheena juurikanavainfektion eliminoinnissa. Monimutkaisissa anatomisissa variaatioissa kanavatilan tehokas kemomekaaninen puhdistaminen voi kuitenkin olla haastavaa, jolloin sealerin antimikrobisesta aktiivisuudesta voi olla hyötyä. (Brezhnev ym. 2019)

Usein juurikanavan jäännösinfektioissa ja uusintainfektioissa havaitaan *enterococcus faecalis* (Kapralos ym. 2018). Siksi se on eniten käytetty mikrobi tiivistäineen antibakteerisen aktiivisuuden testaamisessa. Muita testauksessa yleisesti käytettyjä mikro-organismeja ovat *micrococcus luteus*, *staphylococcus aureus*, *escherichia coli*, *pseudomonas aeruginosa*, *candida albicans* ja *streptococcus mutans*. (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016) Varhaisessa vaiheessa sekoittamisen jälkeen useilla sealereilla on hyvä antibakteerinen aktiivisuus *e. faecalis* vastaan. Sealereiden antibakteerinen aktiivisuus kuitenkin vähenee ajan kuluessa (Kapralos ym. 2018). Yleisimmin antibakteerisen aktiivisuuden arviointiin käytetään kahta menetelmää: agar-diffuusiotestiä ja suorakontaktitestiä (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). Tutkimustulosten vertailua vaikeuttaa erot tutkimusmenetelmissä ja tutkittavissa materiaaleissa (Kapralos ym. 2018).

Kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden antibakteeristen ominaisuuksien on raportoitu olevan hyvät ja pääsääntöisesti paremmat kuin epoksiresiinipohjaisilla sealereilla (Donnermeyer ym. 2019). On osoitettu, että niistä vapautuvat kalsium- ja hydroksidi-ionit nostavat paikallisesti pH:ta lisäten antimikrobivaikutuksia (Komabayashi ym. 2020). iRoot SP:n antibakteerivaikutukset ovat olleet MTA:n kaltaiset. Tutkimuksissa sen on todettu tehoavan *e. faecalis*ta, *escherichia colia*, *lactobacillusta*, *pseudomonas aeruginosaa* ja *stafylococcus aureusta* vastaan. Lisäksi sillä on todettu antifungaalista aktiivisuutta *candida albicansia* vastaan. Epoksiresiinipohjaisiin sealereihin verrattuna iRoot SP:n antibakteeriset vaikutukset ovat olleet tutkimuksissa voimakkaammat tai vähintään yhdenvertaiset. Myös antimikrobi-teho *candida albicansia* ja *s. aureusta* vastaan on osoittautunut AH Plusilla heikommaksi.

(Donnermeyer ym. 2019) Koostumukseltaan iRoot SP:ta vastaavan EndoSequence BC Sealerin on myös todettu olevan voimakkaammin antibakteerinen kuin epoksiresiinipohjaisten ja sinkkioksidieugenolipohjaisten tiivistäaineiden (Komabayashi ym. 2020). BioRoot RCS:n antimikrobivaikutukset e. faecalista vastaan on havaittu voimakkaammiksi kuin AH Plussan. Verrattaessa BioRoot RCS:ää ja iRoot SP:tä keskenään, niiden antibakteerisen aktiivisuuden on havaittu yltävän samoille tasoille, vaikka alkuvaiheessa BioRoot RCS:n aktiivisuustasot olivat alhaisemmat. Eräässä tutkimuksessa Endo CPM:lla on todettu antimikrobivaikutusta e. faecalista, s. aureusta, p. aeruginosaa, m. luteusta ja c. albicansia vastaan. Toisessa tutkimuksessa puolestaan vaikutusta e. faecalista vastaan ei todettu. (Donnermeyer ym. 2019)

Tutkimustulokset ovat puoltaneet sitä, että epoksiresiinipohjaiset sealerit ovat vahvasti antimikrobisia kovettumisen aikana (Kapralos ym. 2018). Kovettumisen jälkeen ne kuitenkin menettävät pääasiassa antimikrobisen aktiivisuutensa (Brezhnev ym. 2019). AH Plus on voimakkaasti antibakteerinen sekä yksittäisiä että biofilmissä esiintyviä lajeja vastaan. Sen on raportoitu tappavan tehokkaasti e. faecalista ja s. epidermidista. (Kapralos ym. 2018) Verrattuna sinkkioksidieugenolipohjaiseen CRCS:iin sen antimikrobivaikutukset olivat heikommat. CRCS:n antimikrobiominaisuuksiin kuitenkin vaikuttaa sen sisältämä kalsiumhydroksidi. Osa tutkimuksista puolestaan on havainnut, että AH Plussalla ja sinkkioksidieugenolipohjaisilla sealereilla e. faecalista vastaan muodostuvat bakteeri-inhibitiovyöhykkeet ovat samankaltaiset. Metakrylaattiresiinipohjaisella EndoREZ:lla antibakteerinen aktiivisuus on todettu AH Plussaa ja Sealapexia paremmaksi. (Komabayashi ym. 2020)

Sinkkioksidi tunnetaan antimikrobisena aineena. Sinkkioksidieugenolipohjaisten sealereiden vaikutukset e. faecalista, s. aureusta ja s. mutansia vastaan ovat olleet paremmat verrattuna useisiin epoksiresiinipohjaisiin sealereihin. Verrattuna kalsiumhydroksidipohjaisiin sealereihin sinkkioksidieugenolipohjaiset sealerit ovat olleet antibakteeriominaisuuksiltaan paremmat. (Komabayashi ym. 2020)

Kalsiumhydroksidipohjaisten sealereiden antibakteerisista vaikutuksista on vaihtelevia tuloksia. Apexitin on havaittu olevan vain lievästi antibakteerinen monia anaerobisia ja aerobisia juurikanavassa tavattavia mikrobeja vastaan. Resiini- ja eugenolipohjaisiin sealereihin verrattuna Sealapex ja Apexit ovat vähemmän tehokkaita bakteerien tappamisessa.

Tutkimusten mukaan kalsiumhydroksidipohjaiset tiivistaineet ovat tehottomia candidaa vastaan. (Desai & Chandler 2009)

Yleisesti silikonipohjaisia sealereita ei pidetä antimikrobisina materiaaleina (Komabayashi ym. 2020). Niiden antimikrobiominaisuudet ovat osoittautuneet heikoiksi. Jopa valmistajan mukaan silikonipohjainen RoekoSeal ei saavuta lainkaan antimikrobista vaikutusta. Myöskään GuttaFlow 2 ei ole onnistunut saavuttamaan antimikrobivaikutuksia tutkimuksissa. (Kapralos ym. 2018) Lasi-ionomeeripohjaiset sealerit ovat toinen tiivistaineryhmä, jonka on havaittu saavuttavan erittäin vähän antimikrobivaikutuksia (Komabayashi ym. 2020).

Viime vuosien aikana juurikanavasealereita on muunneltu lisäämällä niihin antimikrobisia lisäaineita, kuten antibiootteja, klooriheksidiiniä, antifungaalisia ja antiseptisiä aineita. Tavoitteena on ollut ehkäistä biofilmin muodostusta täytetyssä juurikanavassa säilyttäen kuitenkin sealerin fysiokemialliset ja biologiset ominaisuudet. Esimerkiksi kaksiprosenttisella bentsalkoniumkloridilla modifioitunut AH Plussan on havaittu inhiboivan mikrobeja, kuten streptococcus mutanssia, merkittävästi paremmin kuin muokkaamaton versio samasta materiaalista. Myös AH Plussaan lisätty yksi- tai kaksiprosenttinen klooriheksidiini lisää sen antibakteerivaikutuksia. Lisäaineen tuoman antimikrobisen aktiivisuuden on havaittu kuitenkin vähenevän ajan kuluessa. On vielä epäselvää, mikä antimikrobisten ominaisuuksien merkitys on pitkällä aikavälillä juurikanavan uusintainfektion ehkäisyssä. Erilaisten lisäaineiden vaikutuksia antimikrobiominaisuuksiin on tutkittu paljon. Tutkimuksissa on käytetty erilaisia menetelmiä lopputuloksen tarkasteluun, minkä vuoksi suora vertailu tutkimusten välillä on mahdotonta. Antimikrobisten lisäaineiden kohdalla tulee varmistaa, ettei niillä ole haitallisia vaikutuksia kudoksiin. Lisäksi lisäaineet voivat vaikuttaa epäedullisesti materiaalin ominaisuuksiin lisäten ei-toivottujen juurihoidon hoitotulosten riskiä. Esimerkiksi paikallisten antibioottien käyttöön liittyy juurikanavan bakteerikannan lisääntyneen antibioottiresistenssin riski. Tutkimusten mukaan antimikrobiset lisäaineet ovat usein lisänneet epoksiresiinipohjaisten sealereiden antimikrobivaikutusta ja yleensä niiden fysiokemialliset ominaisuudet ovat säilyneet suositusten mukaisina. (Brezhnev ym. 2019)

6.4 Tiiviysominaisuudet

Juuritäytteen tiivisteaineelle tärkein ominaisuus on sen kyky tiivistää juuritäyte. Eri tiivistäineryhmien tiiviysominaisuuksien vertailun tekee hankalaksi erilaiset tutkimusolosuhteet. Useissa tutkimuksissa eri tiivisteaineita on verrattu AH Plussaan, mikä toisaalta helpottaa vertailua. (Komabayashi ym. 2020)

Epoksiresiinipohjaisilla tiivisteaineilla tiivistuskyky on näyttänyt olevan kohtalainen, mutta kuitenkin parempi kuin sinkkioksidieugenolipohjaisilla sealereilla. Kalsiumhydroksidipohjainen Apexit tiivistää kohtalaisen hyvin verrattuna sinkkioksidieugenolipohjaisiin sealereihin, AH Plussaan ja RoekoSealiin. Lasi-ionomeeripohjaisten tiivisteaineiden tiivistuskyky ja sitoutuminen guttaperkkaan on osoittautunut heikoksi. (Komabayashi ym. 2020) Bioke-raamisilla sealereilla tiivistuskyvyn on raportoitu olevan tyydyttävä ja verrattavissa muihin markkinoilla oleviin tiivisteaineisiin (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016). Tiiviysominaisuuksia voidaan tarkastella arvioimalla sealereiden penetraatiota dentiinitubuluksiin, niiden sidoslujutta ja mikrovuotoa.

6.4.1 Penetraatio dentiinitubuluksiin

Tutkittaessa tiivisteaineen adheesiota dentiiniin on havaittu, että kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden adheesiokyky on samankaltainen kuin epoksiresiinipohjaisella AH Plussalla. Tällaisia tuloksia on saatu iRoot SP:n ja Endoseal MTA:n kohdalla. iRoot SP:llä on havaittu parempi penetraatio dentiinitubuluksiin ja korkeampi vetosidoslujuus verrattuna muihin kalsiumsilikaattipohjaisiin sealereihin. Sen on havaittu penetroituvan dentiinitubuluksiin jopa kahden millimetrin syvyyteen. Joissain tutkimuksissa on havainnut iRoot SP:n penetroituvan merkittävästi syvemmälle dentiinitubuluksiin kuin AH Plussan. Osa tutkimuksista puolestaan ei ole havainnut eroa iRoot SP:n ja epoksiresiinipohjaisten sealereiden välillä. BioRoot RCS:n kohdalla tutkimustulokset penetraatiosta dentiinitubuluksiin ovat olleet ris-tiriitaisia. Lisäksi on havaittu, että juurikanavan väliaikainen täyttö kalsiumhydroksidilla voi vähentää BioRoot RCS:n penetraatiota dentiinitubuluksiin. Endoseal MTA:lla penetraatio dentiinitubuluksiin on raportoitu olevan parempi kuin AH Plussalla ja BioRoot RCS:llä. (Donnermeyer ym. 2019)

Resiinipohjaisten sealereiden penetraatio dentiinitubuluksiin on useissa tutkimuksissa todettu olevan parempi kuin sinkkioksidieugenolipohjaisten sealereiden. Resiinipohjaisista

sealereistä epoksiresiinipohjaisilla on parempi tunkeutumiskyky dentiinitubluksiin kuin metakrylaattiresiinipohjaisilla. (Mamootil & Messer 2007)

6.4.2 Mikrovuoto

Mikrovuodon arviointiin on käytetty useita erilaisia menetelmiä, kuten väriaineiden, nesteiden ja mikrobien vuodon testaamista (Komabayashi ym. 2020). AH Plussaan verrattuna iRoot SP:lla on havaittu vähemmän väriaineiden vuotoa. Nesteiden vuoto ja bakteerivuoto ovat näillä kahdella tiivistaineella olleet tutkimuksissa samanlaiset. Kahdessa tutkimuksessa apikaalinen vuoto on ollut iRoot SP:lla suurempaa kuin AH Plussalla. iRoot SP:n tiivisominaisuuksien on raportoitu olevan hyvät, jopa paremmat kuin MTA:lla. Endo CPM:lla bakteerivuodon on havaittu olevan merkittävästi suurempaa kuin AH Plussalla. (Donnermeyer ym. 2019)

Komabayashi ym. (2020) koostivat tiivistaineiden mikrovuotoa koskevista tutkimuksista yhteenvedon. Jokaiselle tiivistaineelle laskettiin kirjallisuuden perusteella suhteellisen mikrovuodon minimi- ja maksimiarvo, keskiarvo sekä mediaani. He käyttivät mikrovuodon vertailussa AH Plussaa standardina, johon muita materiaaleja verrattiin. Väriaineiden vuotoa havaittiin kaikilla tiivistaineilla tyypistä riippumatta. Matalin suhteellisen mikrovuodon keskiarvo oli EndoSequence BC Sealerilla. Sitä lukuun ottamatta muille kalsiumsilikaattipohjaisilla sealereilla tutkimustulokset vuodosta olivat ristiriitaisia. Toiseksi pienin suhteellinen mikrovuodon keskiarvo oli silikonipohjaisilla sealereilla RoekoSealilla ja GuttaFlow:lla. Sinkkioksidieugenolipohjaisilla sealereilla ja lasi-ionomeeripohjaisella Ketac-Bondilla mikrovuotoa oli saman verran, mikä oli enemmän kuin muilla tiivistaineryhmillä. Metakrylaattiresiinipohjaisen Epiphany:n ja Resilon-nastan muodostaman monoblokin kohdalla mikrovuotoa on ollut vähemmän verrattuna useisiin muihin tiivistaineisiin. (Komabayashi ym. 2020)

6.4.3 Sidoslujuus

Sealerin ja juuridentiinin välille tarvitaan luja sidos, jotta juurentäyte säilyy yhtenäisenä juurihoidon jälkeisen hampaan preparoinnin ja purentavoimien aiheuttaman jouston aikana. Biokeraamiset sealerit kykenevät muodostamaan sidokset sekä täytteen ydinmateriaalin että

juuren dentiinin kanssa. Kirjallisuuden mukaan kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden sidosluku on ollut pääsääntöisesti voimakkaampi tai yhtä vahva kuin AH Plussalla. iRoot SP:lla sidostumisen juuridentifiin on havaittu vastaavan AH Plussan sidostumista. Sealapexiin ja EndoREZ:iin verrattuna sen muodostama sidos on ollut voimakkaampi. Resistenssi irrottavia voimia vastaan on sekä iRoot SP:llä että EndoSequence BC Sealerilla ollut parempi kuin AH Plussalla. Merkittävästi AH Plussaa korkeampi sidosluku on ollut myös Endo CPM:lla. (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016)

Verrattaessa iRoot SP:ta ja AH Plussaa in vitro -sidoslukuun osalta on saatu ristiriitaisia tuloksia. Osa tutkimuksista on raportoinut iRoot SP:n in vitro -sidoslukuun olevan korkeampi, mutta myös vastakkaisia tuloksia on saatu. Vaihtelevia tuloksia on saatu eri täyttömenetelmillä ja olosuhteilla. Sekä Endoseal MTA:lla että BioRoot RCS:lla in vitro -sidoslukuun on tutkimuksissa havaittu olevan heikompi kuin AH Plussalla. (Donnermeyer ym. 2019)

6.5 Täytteen laatu

Aukkojen läsnäolo juuritäytteessä heikentää juurentäytteen laatua ja niillä on merkittävä yhteys juurihoidon onnistumiseen. On kuitenkin epäselvää, kuinka suuren määrän aukkoja voidaan ajatella johtavan juurihoidon epäonnistumiseen. (Arikatla ym. 2018)

Juurentäytteen laatua verrattaessa tutkimustulokset epoksiresiinipohjaisten sealereiden ja iRoot SP:n välillä ovat olleet ristiriitaisia. Enimmäkseen tutkimustulokset puoltavat sitä, että iRoot SP:tä käytettäessä juuritäytteeseen jää saman verran tai jopa enemmän aukkoja kuin käytettäessä epoksiresiinipohjaisia sealereita. Myös Endoseal MTA:lla ja BioRoot RCS:llä tyhjiä kohtia on havaittu olevan enemmän kuin AH Plussalla. AH Plussan on raportoitu täyttävän paremmin sivukanavat verrattuna iRoot SP:hen, kun täyttö on tehty käyttäen yhtä täytönastaa. (Donnermeyer ym. 2019)

6.6 Hampaan värjäytyminen

Hampaan värjäytyminen juurihoidon seurauksena on yleinen ja estetiikan kannalta haitallinen löydös. Värjäytymisen taustalla on dentiinitubuluksiin leviävät sealerin komponentit, kuten eugenoli, hopea ja fenoli. Hoidon seurauksena värjäytyneen hampaan valkaisu on

haastavampaa ja tehottomampaa kuin esimerkiksi trauman seurauksena värjäytyneen hampaan. Tämän vuoksi hyvällä tiivistäineellä värjäyspotentiaali on mahdollisimman pieni. Värjäytymisen ehkäisemiseksi pulpakavumin puhdistaminen juuritäytön jälkeen alkoholiin kastetulla vanupallolla on tärkeää, jotta tiivistäinejäänteet eivät reagoi lopullisen täyttemateriaalin kanssa lisäten värjäytymisriskiä. Erityisesti esteettisellä alueella tiivistäineen applikointi tulisi tehdä huolella. (Tour Savadkouhi & Fazlyab 2016)

Kirjallisuuden mukaan kaikilla endodontisilla sealereilla näyttäisi olevan jonkin verran värjäyspotentiaalia juurikanavatilassa. Sinkkioksidieugenolipohjaisilla sealereilla värjäytymis-
 potentiaali näyttäisi olevan matala. Kalsiumhydroksidipohjaisilla sealereilla värjäämistäipumusta on niitakin vähemmän. Apexit Plussan ja Sealapexin yhteydessä on havaittu vähemmän koronaalista värjäytymistä kuin esimerkiksi AH26:n, AH Plussan ja sinkkioksidieugenolipohjaisten sealereiden yhteydessä. Lähes kaikki tutkimukset ovat osoittaneet, että resiinipohjaisilla sealereilla värjäämispotentiaali on korkea. AH26:n on vertailuissa havaittu aiheuttavan enemmän värjäytymistä kuin muiden sealereiden. Silikonipohjaisten sealereiden osalta värjäämistäipumusta on tutkittu vain yhdessä tutkimuksessa, jonka mukaan GuttaFlow ei aiheuttanut kliinisesti merkitsevää värjäymää. Biokeraamisissa sealereissa radioopaakkisena lisäaineena esiintyvä vismuttioksidi on ollut potentiaalinen värjäymää aiheuttava komponentti. Siksi se on nykyisin usein korvattu muilla aineilla, kuten zirkonialla tai tantaalioksidilla (Tour Savadkouhi & Fazlyab 2016) Kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden värjääviä ominaisuuksia on vielä tutkittu vähän. Saatujen tulosten mukaan kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden ei ole havaittu aiheuttavan merkittävästi hampaan kovakudosten värjäytymistä ja tulokset ovat vastanneet AH Plussaa. (Donnermeyer ym. 2019) Lasi-ionomeeripohjaisten sealereiden värjäyspotentiaalista ei ole julkaisuja (Tour Savadkouhi & Fazlyab 2016).

6.7 Uusintajuurihoidettavuus

Juurentäyttemateriaalien täydellinen poisto juurikanavasta uusintajuurihoidon aikana on tärkeää terveiden periapikaalikudosten saavuttamiseksi. Uusintajuurihoidoissa eniten jäännös-
 materiaalia jää tiivistäineestä. (Al-Haddad & Che Ab Aziz 2016)

Kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden poisto juurikanavasta uusintajuurihoidon aikana on mahdollista, mutta sen on tutkimuksissa raportoitu olevan työlästä. Uusintajuurihoidon jälkeen tätemateriaalin jäänteitä on havaittu enemmän silloin, kun primäärijuurihoidossa on käytetty iRoot SP sealeria verrattuna epoksiresiinipohjaisilla tai sinkkioksidieugenolipohjaisilla sealereilla tehtyihin juurihoitoihin. iRoot SP:n jäänteitä on havaittu mikro-CT tutkimuksessa merkittävästi enemmän kuin AH Plussan jäänteitä silloinkin, kun uusintajuurihoidossa on käytetty apuna kloroformia. Toisaalta useissa tutkimuksissa on myös todettu, että AH Plussan ja iRoot SP:n jäänteitä on uusintajuurihoidon jälkeen ollut saman verran. Useiden tutkimusten mukaan lopulliseen työmintaan pääseminen uusintajuurihoidon aikana saavutetaan likimain samassa ajassa riippumatta siitä, onko juurikanava täytetty iRoot SP:lla vai epoksiresiinipohjaisella sealerilla. Joissain tutkimuksissa on puolestaan havaittu iRoot SP:n poiston kanavasta kestävän kauemmin kuin AH Plussan ja sinkkioksidieugenolipohjaisten tiivistesteineiden. Uusintajuurihoitoa BioRoot RCS:lla ja Endo CPM:lla täytetyissä kanavissa on tutkittu vain yhdessä tutkimuksessa, jonka mukaan epoksiresiinipohjaisen sealerin poisto kanavasta kesti näitä kauemmin ja tiivistesteinejäänteitä oli enemmän. (Donnermeyer ym. 2019)

7. YHTEENVETO

Epoksiresiinipohjainen AH Plus on ollut juurihoidossa kultaisena standardina syystä. Tutkimustulokset ovat osoittavat sen olevan fysiokemiallisilta ominaisuuksiltaan ja tiiviysominaisuuksiltaan suotuisa verrattuna muihin tiivistestaineryhmiin. Pitkään juuritäytteen pääasiallisena tavoitteena on ollut tiiviin täytteen saavuttaminen ja sitä ajatellen AH Plus onkin oiva valinta. Mielenkiinnon siirryttyä viime vuosien aikana myös bioaktiivisuuden ja antimikrobisten ominaisuuksien tavoitteluun, ovat biokeraamiset kalsiumsilikaattipohjaiset sealerit herättäneet valtavasti kiinnostusta. Bioaktiivisen potentiaalin puutteen ja kovettumisen aikaisen antimikrobisen aktiivisuuden menetyksen vuoksi AH Plus ei ylety näihin uusiin juuritäytteelle asetettuihin tavoitteisiin. Siksi kalsiumsilikaattipohjaiset sealerit voivat tulevaisuudessa nousta tärkeimmäksi juuritäytteen tiivistestaineryhmäksi (Donnermeyer ym. 2019).

Yleisesti kalsiumsilikaattipohjaisista sealereista on saatu lupaavia tutkimustuloksia. Ne saattavat täyttää suurimman osan ideaalisen juurikanavasealerin ominaisuuksista. Lukuisissa

tutkimuksissa on pystytty osoittamaan niiden bioaktiivisuus ja dimensionaalinen pysyvyys ja siksi niitä pidetään lupaavina verrattuna perinteisiin materiaaleihin. (Saad 2020) Suurimaksi osaksi kirjallisuus osoittaa, että kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden ominaisuudet ovat samankaltaisia tai parempia verrattaessa perinteisiin käytössä oleviin tiivistearineisiin (Silva Almeida ym. 2017). Ne ovat bioyhteensopivia ja niiden fysiokemialliset ja biologiset ominaisuudet ovat osoittautuneet edullisiksi. Myös tiiviysominaisuuksiltaan ne ovat AH Plussan kaltaisia tai jopa parempia. Kalsiumsilikaattipohjaisista sealereista erityisesti iRoot SP on vaikuttanut ominaisuuksiltaan erinomaiselta.

Tarvitaan kuitenkin lisää tutkimuksia arvioimaan kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden ominaisuuksia pitkäaikaisseurannassa. Tutkimuksia kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden kliinisestä merkityksestä juurihoidon lopputulokseen on edelleen vähän. Esimerkiksi niiden bioaktiivisuuden edellytyksenä olevan liukoisuuden sekä bioaktiivisen potentiaalin kliininen merkitys juurihoidon onnistumiseen on vielä epäselvä. Kirjallisuudessa on myös puutteita kalsiumsilikaattipohjaisten sealereiden soveltuvuudesta lämmintäytöntekniikoihin, johtuen valmistajien suosituksesta käyttää kalsiumsilikaattipohjaisia tiivistearinevalmisteita vain kylmätyöntekniikoilla. (Donnermeyer ym. 2019)

8. POHDINTA

Tiivistearineiden vertailua hankaloittaa erilaiset koeolosuhteet. Niin tutkimusmenetelmissä kuin tutkittavissa tiivistearinevalmisteissa on kirjallisuudessa runsaasti vaihtelua. Erilaiset tutkimusmenetelmät voivat johtaa samojenkin materiaalien kohdalla eriäviin tuloksiin. Lisäksi saman tiivistearineryhmän sisällä valmisteet poikkeavat koostumukseltaan toisistaan ja siksi niiden fysiokemiallisissa ominaisuuksissa on eroavaisuuksia. Tämä vaikeuttaa eri tiivistearineryhmien keskinäistä vertailua.

Mikään tiivistearineryhmä ei täytä täysin ideaalisen juuritäytteen tiivistearineen ominaisuuksia. Kliinikon on punnittava tilannekohtaisesti vaadittavia ominaisuuksia suhteessa tiivistearineen hyötyihin ja heikkouksiin. Esimerkiksi juurikanavatilan ollessa infektiovapaa sealerin tiiviysominaisuudet ovat avainasemassa. Tällöin sealerin terapeuttiset vaikutukset eivät ole yhtä merkittäviä juurihoidon onnistumisen kannalta, vaan tärkeämpää on huolellinen

kemomekaaninen preparointi, juurihoidon suorittaminen aseptisesti sekä laadukkaan juuritäytteen tekeminen. (Komabayashi ym. 2020) Jos juurikanava on puolestaan infektoitunut, sealerin antimikrobinen aktiivisuus ja bioaktiivinen potentiaali voivat olla tarpeellisia ominaisuuksia.

LÄHDELUETTELO

- Al-Haddad A & Che Ab Aziz ZA (2016). Bioceramic-Based Root Canal Sealers: A Review. *International Journal of Biomaterials* 2016:9753210.
- Arikatla SK, Chalasani U, Mandava J & Yelisela RK (2018). Interfacial adaptation and penetration depth of bioceramic endodontic sealers. *Journal of Conservative Dentistry* 21(4): 373-377.
- Blicher B, Lucier Pryles R & Lin J (2016). *Endodontics Review : A Study Guide*. Quintessence Publishing Co Inc, Hanover Park.
- Brezhnev A, Neelakantan P, Tanaka R, Brezhnev S, Fokas G & Matinlinna JP (2019). Antibacterial Additives in Epoxy Resin-Based Root Canal Sealers: A Focused Review. *Dentistry Journal* 7(72).
- Desai S & Chandler N (2009). Calcium Hydroxide-Based Root Canal Sealers: A Review. *Journal of Endodontics* 35(4): 475-480.
- Donnermayer D, Bürklein S, Dammaschke T & Schäfer E (2019). Endodontic sealers based on calcium silicates: a systematic review. *Odontology* 107: 421-436.
- Grossman L (1982). *Endodontic Practice*, 10th Edition. Lea & Febiger, Philadelphia.
- Kapralos V, Koutroulis A, Ørstavik D, Sunde PT & Rukke HV (2018). Antibacterial Activity of Endodontic Sealers against Planktonic Bacteria and Bacteria in Biofilms. *Journal of Endodontics* 44(1): 149-154.
- Kaur A, Shah N, Logani A & Mishra N (2015). Biotoxicity of commonly used root canal sealers: A meta-analysis. *Journal of Conservative Dentistry* 18(2): 83-88.
- Kim YK, Grandini S, Ames JM, Gu LS, Kim SK, Pashley DH ym. (2010). Critical Review on Methacrylate Resin-based Root Canal Sealers. *Journal of Endodontics* 36(3): 383-399.
- Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C & Imai Y (2020). Comprehensive review of current endodontic sealers 39(5): 703–720.
- Mamootil K & Messer HH (2007). Penetration of dentinal tubules by endodontic sealer cements in extracted teeth and in vivo. *International Endodontic Journal* 40(11): 873-881.
- Ørstavik D (2005). Materials used for root canal obturation: technical, biological and clinical testing. *Endodontic Topics* 12(1):25-38.
- Saad AY (2020). Physicochemical, cytotoxicity, and biological properties of calcium silicate-based root canal sealers: A literature review. *Saudi Endodontic Journal* 10(3): 173-180.
- Silva Almeida LH, Moraes RR, Morgental RD & Pappen FG (2017). Are Premixed Calcium Silicate-based Endodontic Sealers Comparable to Conventional Materials? A Systematic Review of In Vitro Studies. *Journal of Endodontics* 43(4): 527-535.
- Tour Savadkouhi S & Fazlyab M (2016). Discoloration Potential of Endodontic Sealers: A Brief Review. *Iranian Endodontic Journal* 11(4): 250-254.